



TESIS - 141501

Pengaruh Angka Iodin Terhadap Ketahanan Komponen-
Komponen Utama Motor Diesel Dengan Bahan Bakar
Jelantah Methyl Ester B20

Hadi Prasutiyon

NRP. 411 520 4201

Dosen Pembimbing :

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



TESIS – 141501

**JUDUL : Pengaruh Angka Iodin Terhadap Ketahanan Komponen –
Komponen Utama Motor Diesel Dengan Bahan Bakar
Jelantah Methyl Ester B20**

Hadi Prasutiyon

NRP. 411 520 4201

Dosen Pembimbing

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

**Judul Tesis : Pengaruh Angka Iodin Terhadap Ketahanan Komponen-
Komponen Utama Motor Diesel Dengan Bahan Bakar Jelantah
Methyl Ester B20**

Oleh : Hadi Prasutiyon

NRP : 4115 204 201

Telah Diujikan pada:

Hari/Tanggal : Selasa/25 Juli 2017

Periode Wisuda : September 2017

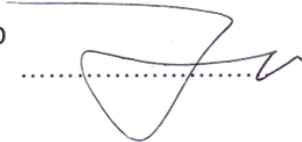
Untuk Mendapat Gelar Magister Teknik (MT) Pada Program Pasca Sarjana

Teknologi Kelautan-Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember


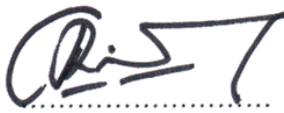
Dosen Pembimbing

1. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng. Ph.D
NIP: 1956 0519 1986 10 1001



Dosen Penguji

1. Dr. Eddy Setyo K, ST.M.Sc
NIP: 1968 0701 1995 12 1001
2. Dr.Eng. I Made Ariana, ST. MT
NIP: 1971 0610 1995 12 1001
3. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng. Ph.D
NIP: 1956 0519 1986 10 1001




Dekan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Prof. H. Daniel M. Rosyid, Ph.D
NIP. 1961 0702 1988 03 1003

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH ANGKA IODIN TERHADAP KETAHANAN KOMPONEN-
KOMPONEN UTAMA MOTOR DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR JELANTAH
METHYL ESTER B20.**

Nama : Hadi Prasutiyon

NRP : 4115204201

Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fatallah, M.Eng. Ph.D

ABSTRAK

Penelitian ini difokuskan pada nilai angka iodin pada biodiesel Jelantah Methyl Ester (JME) dan pengaruhnya terhadap ketahanan komponen-komponen utama motor diesel. Iodine Number merupakan suatu besaran untuk mengukur derajat ketidakjenuhan dalam asam lemak. Angka Iodin sangat berpengaruh terhadap kerusakan komponen. Untuk mengetahui permasalahan ini maka dilakukan pengujian dengan metode eksperimen. Motor diesel dengan bahan bakar biodiesel JME yang angka iodinnya bervariasi digunakan untuk menguji ketahanan dengan menggunakan standar EMA (Engine Manufacture Association). Dari pemeriksaan kandungan logam pada pelumas diketahui bahwa komponen-komponen yang mengalami keausan adalah komponen yang banyak mengandung unsur logam Al dan Fe. Hal inilah yang menyebabkan komponen-komponen motor diesel tersebut bekerja tidak optimal.

Kata Kunci: Angka Iodin, Biodiesel Jelantah Methyl Ester (JME), Ketahanan Komponen Motor Diesel.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

THE EFFECT OF IODINE NUMBER ON THE DURABILITY OF MAIN COMPONENTS OF DIESEL ENGINE WITH JELANTAH METHYL ESTER B20 FUELS

Name : Hadi Prasutiyon

NRP : 4115204201

Supervisor : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fatallah, M.Eng. Ph.D

ABSTRACT

This research is focused on the value of iodine number in biodiesel of *Jelantah* Methyl Ester (JME) and its effect on the durability of the main components of diesel engine. Iodine Number is a scale to measure the degree of unsaturation in fatty acids. Iodine numbers greatly affect the component damage. To find out this problem then tested by experimental method. Diesel engine with JME biodiesel fuel which varied iodine numbers are used to durability test with EMA (Engine Manufacture Association) standard. From the examination of the metal content of the lubricant, it is known that the wear components are the components that contain lots of Al and Fe metals. This is what causes the diesel engine components work is not optimal.

Keywords: Iodine Number, Methyl Ester (JME) Fuel Biodiesel, Durability of Diesel Engine Components.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdullillahirobbillallamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt yang telah memberikan taufik dan hidayahNya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Pengaruh Angka Iodin Terhadap Ketahanan Komponen – Komponen Utama Motor Diesel dengan Bahan Bakar Jelantah Methyl Ester B20”. Tesis ini merupakan tugas akhir masa studi dan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Program Pascasarjana Teknologi Kelautan ITS Surabaya.

Dalam proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dorongan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang setinggi-tingginya kepada :

- Keluarga tercinta istriku Azizah, Anakku Muhammad Reza Aziz Prasetya dan Catherine Diaz Aprilliea atas kesabarannya selama ini.
- Dosen Pembimbing Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M. Eng, PhD. Yang telah bersedia membimbing penyusunan tesis ini dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu untuk konsultasi tesis, berdiskusi, memberi motivasi, koreksi, arahan, pencerahan, serta kepercayaan kepada penulis.
- Bapak Dr. RO. Saut Gurning ST.,M.Sc, C.Eng, MIMarEST sebagai dosen wali sekaligus sebagai Ketua Kaprodi S2 Sistem dan Pengendalian Kelautan ITS yang telah dengan sabar dan kemurahan hati membimbing kami sampai purna.
- Bapak Professor Semin Sanuri ST.MT.PHD., Bapak Dr.Eng Trika Pitana, ST., M.Sc, Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah M.Eng.PHD, Bapak Dr. Ir A.A. Masroeri, M.Eng, Bapak Dr.Eng. I Made Ariana, ST., MT., Bapak Sutopo Purwono Fitri ST.,M.Eng.,PhD, Bapak Ir. Sardono Sarwito M.Sc,Bapak Dr. Eng. Dhimas Widhi Hamdani,S.T.,M.Sc., Bapak Dr. Eddy Setyo K. ST. MSc. beserta segenap dosen pengajar PPsTK. Terimakasih atas bimbingannya selama ini untuk kesempatannya berbagi ilmu, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan mendapat balasan dari Allah SWT dengan kebaikan setimpaldan menjadi amal jariyah di akhirat kelak.Amin ya robballallamin.
- Bapak Beny Cahyono ST.MT.PHD.selaku Kepala Laboratorium MPP dan segenap karyawan dan tenaga pendidik di lingkungan PPsTK, Bapak Sunyoto,Bapak Hasan dan bapak-bapak,ibu-ibu di jajaran manajemen PPsTK, Bapak Nur yang ada di Lab MPP,Ibu Fatati Kurnia dan Bapak Hakim yang ada di Lab.Kimia MIPA,Bapak Lutfi yang ada di Lab.Energi Robotika dan semua pihak yang selama ini banyak membantu kelancaran

proses belajar kami, semoga menjadi amal yang dicatat oleh Allah Swt dan mendapat balasan setimpal.

- Segenap Civitas Akademik di FTIK Univ. Hang Tuah Surabaya, Bapak Arif Winarno ST.MT, Bapak Urip Prayogi ST.MT, Bapak Ir. A.H. Rijanto MAp, Bapak Dr. Ir. Viv Janat Prasita M.Sc, Bapak Toto Soeharmono, ST.MT., segenap dosen dan karyawan FTIK yang banyak membantu dalam kelancaran proses belajar kami selama di ITS semoga kebaikan beliau-beliau ini mendapat balasan setimpal dari Allah SWT.
- Segenap teman seangkatan Bapak Fransisco Pinto (Timor Leste) yang banyak membantu baik moril maupun materiil, dan kakak angkatan kami Mbak Nilam, Mbak Ayu, Mbak Emy, Bapak Cahya Kusuma, Bapak Mahendra, dan adik angkatan kami Bapak Edi, Bapak Darmawan, Mbak Putri, Mas Gusma, Mas Rudianto, Mas Danang Cahyagi, Mas Bintang, dkk yang banyak membantu dan support atas kelancaran proses belajar kami.
- Semua pihak yang berjasa membantu dalam menyelesaikan proses belajar kami yang tidak bisa saya sebutkan satu – persatu, terimakasih atas bantuannya selama ini.

Semoga beliau – beliau yang saya sebutkan tadi, kebbaikannya kepada kami dibalas oleh Allah Swt dengan yang lebih baik dari segala bantuan, bimbingan, dukungan, serta doa yang telah diberikan kepada kami selama mengikuti proses belajar di ITS selama ini. Aminn aminn ya robballaallamin.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna, baik dalam bahasan materi maupun dalam teknik penyusunan tesis ini, untuk itu penulis dengan segala kerendahan hati menerima saran dan kritik dari semua pihak demi kesempurnaan tesis ini. Akhirnya penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Hipotesa	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TELAAH PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Jelantah Methyl Ester (JME)	6
2.3 Uji Ketahanan	7
2.4 Four Stroke Diesel Engine	8
2.5 Performa Motor Diesel	9
2.6 Biodiesel dari Jelantah Methyl Ester (JME)	9
2.7 Iodin Number	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Engine Set-Up	14
3.1.1 Pra Eksperimen	15
3.2 Pembuatan Biodiesel JME dengan Variasi Angka Iodin	15
3.3 Uji Karakteristik Biodiesel JME	16
3.4 Uji Ketahanan	18

3.4.1	Ketahanan Motor Diesel.....	18
3.4.2	Variabel Putaran dan Beban.....	18
3.4.3	Hasil Pengujian Ketahanan.....	19
3.5	Pengumpulan Data	20
3.6	Analisa Data dan Pembahasan	21
3.7	Kesimpulan	21
BAB 1V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		23
4.1	Biodiesel Jelantah Methyl Ester dan Variasi Angka Iodin	23
4.2	Pemeriksaan dan Pengukuran Komponen Utama Motor Diesel	26
4.2.1	Pemeriksaan dan Pengukuran Secara Fisik.....	26
4.2.2	Pemeriksaan Secara Visual/Visualisasi Komponen Motor Diesel.....	30
4.2.3	Penumpukan Deposit di Ruang Bakar Motor Diesel	38
4.3	Analisa Kandungan Dalam Pelumas	40
4.4	Analisa Hasil Pengujian Properties Minyak Pelumas.....	41
4.4.1	Hasil Pengujian properties Minyak Pelumas Bahan bakar JME dengan Varian Iodin.....	41
4.4.2	Perbandingan Tingkat Kerusakan Komponen dan Properties Minyak Pelumas selama Uji Ketahanan	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	13
Gambar 2 Engine Set-Up	14
Gambar 3 Ijnjektor.....	31
Gambar 4 Silinder Head.....	32
Gambar 5 Piston	33
Gambar 6 Ring Piston kompresi.....	34
Gambar 7 Ring Piston Oli.....	34
Gambar 8 Bantalan.....	35
Gambar 9 Cilynder Liner	36
Gambar 10 Valve/Katup.....	37
Gambar 11 Jumlah Jelaga/Soot/Kotoran lain.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Standart Biodiesel Indonesia.....	23
Tabel 2 Properties Biodiesel JME dengan Varian Iodin.....	25
Tabel 3 Hasil Pengukuran Diameter Piston.....	28
Tabel 4 Hasil Pengukuran Ring Piston.....	29
Tabel 5 Hasil Pengukuran Bantalan.....	29
Tabel 6 Masa Jelaga/ Shoot/Kotoran lain.....	38
Tabel 7 Rumusan Kimia Asam Lemak Dominan dari Biodiesel Jelantah Methyl Ester.....	38
Tabel 8 Sifat – sifat Fisik Biodiesel JME dan Solar.....	39
Tabel 9 Kadar Logam Dalam Minyak Pelumas Menurut Sumber Asalnya.....	40
Tabel 10 Parameter Properties Minyak Pelumas	41
Tabel 11 Indikator Keausan Komponen-Komponen Motor Diesel.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran1 : Tabel Data Pengujian Ketahanan dengan Bahan Bakar B20.....	59
Lampiran 2 : Tabel Data Pengujian Ketahanan dengan Bahan Bakar B20A.....	67
Lampiran 3 : Tabel Data Pengujian Ketahanan dengan Bahan Bakar B20B.....	74

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pilihan motor diesel sebagai objek penelitian didasarkan pada keyakinan bahwa jenis motor ini masih memiliki daya saing yang baik dengan jenis penggerak mula lainnya secara komersial. Bahkan pada masa mendatang motor diesel merupakan jenis penggerak yang masih perlu diperhitungkan. Dengan makin langkanya bahan bakar konvensional, maka perlu dipikirkan bahan bakar pengganti yang tepat sasaran.

Motor diesel masih menjadi pilihan dalam hal penggerak mula dengan alasan adalah mempunyai durability (ketahanan) dan Reliability (keandalan) yang tinggi. Tentu dengan adanya alasan tersebut durability dan Reliability yang dimiliki mesin diesel sedapat mungkin dapat dipertahankan atau diharapkan menjadi lebih baik ketika dicoba dengan menggunakan bahan bakar lain. Terutama ketika dicoba dengan jelantah methyl ester yang mempunyai nilai viskositas lebih tinggi.

Pemakaian Campuran Jelantah Methyl Esther (JME) dan solar dengan perbandingan 10:90 menaikkan daya efektif motor diesel jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar murni pada rpm dan beban tertentu. Kenaikan terjadi pula pada campuran 20:80 dan 30:70. Bahkan dengan komposisi bahan bakar JME 100% pada putaran 2000 rpm terjadi peningkatan daya efektif sebesar 30.34% jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar. (Fara, 2002). JME akan dipromosikan sebagai bahan bakar pengganti solar dan kemudian akan luas digunakan sebagai bahan bakar dimasa mendatang.

JME mempunyai viskositas dan berat jenis yang masih dalam batas yang diijinkan sebagai bahan bakar motor diesel, pada suhu kamar viskositas kinematisnya 7.5 cst (lebih tinggi 27.11% dari minyak solar) dan berat jenisnya 800 kg/m³ (lebih kecil 3.75% dari minyak solar) serta memiliki cetane number yang lebih tinggi dari solar sehingga mempengaruhi proses pembakaran. Pencampuran minyak solar dengan JME berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan dan konsumsi bahan bakar spesifik motor diesel jika dibandingkan dengan menggunakan minyak solar. Daya yang dihasilkan untuk JME 10, JME 20, JME 30 cenderung mengalami peningkatan pada putaran 2000 dan 2400 (Fara, 2002).

Setiap Engine Manufaktur tidak mengetes ketahanan (durability) enginenya dengan bahan bakar alternatif, oleh sebab itu apabila ada bahan bakar alternatif maka perlu adanya pengujian ketahanan engine (uji durability). Ada dua cara yang lazim digunakan dalam pengujian ketahanan engine yaitu pengujian laboratory dengan menggunakan engine test bed atau chasisdinamometer. Pengujian laboratory dengan menggunakan engine test bed atau chasisdinamometer mengikuti prosedur yang diberikan oleh Engine Manufaktur Association (EMA).Peneliti yang memproduksi (membuat) bahan bakar alternatif dianjurkan untuk menguji ketahanan engine selama 200 jam dengan variasi dan waktu pembebanan yang telah ditentukan dan on road durability test. Onroad durability test bukan pengujian yang dilakukan oleh engine manufaktur. Kelebihan dari pengujian semacam ini adalah kita dapat mengetahui ketahanan secara real dari engine (Zuhdi, 2003).

Masalah ketika menggunakan bahan bakar biodiesel adalah kandungan atau properties dari pada biodiesel itu sendiri.Salah satu kandungan pada biodiesel adalah angka iodin.Selain itu viskositas dan titik bakar dari biodiesel yang lebih tinggi dari pada minyak solar.Dua sifat biodiesel tersebut perlu diturunkan agar cocok menjadi bahan bakar.Selain itu, kandungan asam tak jenuh dalam biodiesel (yang dinyatakan dengan jumlah iodin) meningkatkan risiko polimerisasi dalam minyak pelumas motor diesel.

Angka iodin ini juga mempengaruhi performa dan proses pembakaran dalam motor diesel. Hal ini karena dalam pembakaran motor diesel diusahakan bahan bakar tidak mengandung asam atau basa. Berdasarkan pemikiran tersebut, maka perlu dilakukan pengujian pada motor diesel untuk mengetahui pengaruh kandungan angka iodin dengan menggunakan bahan bakar biodiesel dari JME.

Masalah utama penggunaan minyak nabati secara umum termasuk minyak jelantah sebagai pengganti solar adalah sifat-sifat fisika dan kimia.Terutama viskositas dan titik bakarnya yang lebih tinggi dari pada minyak solar.Dua sifat minyak jelantah (JME) tersebut perlu diturunkan agar cocok menjadi bahan bakar. Selain itu, studi lain mengatakan kandungan asam tak jenuh dalam biodiesel (yang dinyatakan dengan jumlah iodin) meningkatkan resiko polimerisasi dalam minyak pelumas motor diesel dan dapat menyebabkan terjadinya laju keausan dan terbentuknya carbon deposit pada komponen-komponen utama motor diesel.

Angka iodin ini juga akan mempengaruhi ketahanan motor diesel utamanya adalah komponen-komponen utama pada system penggerak mulai system penggerak disekitar ruang

bakar hingga crank system. Berdasarkan pemikiran tersebut, maka perlu dilakukan pengujian pada motor diesel untuk mengetahui pengaruh kandungan angka iodin dengan menggunakan bahan bakar biodiesel dari minyak jelantah (JME) terhadap ketahanan pada komponen utama.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana ketahanan komponen utama motor diesel dengan bahan bakar jelantah methyl ester (B20) dengan angka iodin yang bervariasi?
2. Bagaimana pengaruh angka iodin terhadap ketahanan komponen utama motor diesel?

1.3 Tujuan Penulisan

1. Mengetahui tingkat kerusakan komponen utama motor diesel dengan menggunakan bahan bakar solar yang dicampur jelantah methyl ester (JME) B20 dengan variable angka iodin.
2. Mengetahui pengaruh peningkatan angka iodin dari jelantah methyl ester (JME) B20 pada motor diesel terhadap komponen utama motor diesel.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang penggunaan dan efek dari pemakaian Jelantah Methyl Ester dan kandungan iodin yang diperbolehkan sebagai bahan bakar alternatif.
2. Memberi alternatif bahan bakar yang renewable

1.5 Batasan Masalah

1. Bahan bakar solar yang dipakai dalam percobaan adalah solar yang dijual dipasaran Indonesia (SPBU) yang merupakan produksi PERTAMINA.
2. Minyak goreng bekas yang dipakai berasal dari PKL ayam, lele goreng Kalimaya alun-alun Bangil.
3. Hasil percobaan berlaku pada motor Yanmar TF 85 MH-di 493cc yang dipakai sebagai motor uji coba.

1.6 Hipotesa

Hipotesa pada penelitian yang akan dilakukan adalah diperolehnya data dari pengujian karakteristik yang murni biodiesel dan biodiesel yang mempunyai kandungan variasi iodin

serta data pengujian ketahanan komponen-komponen utama motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel dengan berbagai varian iodin tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang diterapkan untuk menyajikan gambaran singkat mengenai alur pembahasasan pada penelitian ini sehingga akan diperoleh gambaran yang jelas tentang urutan penulisan. Tesis ini terdiri dari lima bab yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, hipotesa serta sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Berisi dasar teori dan kajian referensi tentang permasalahan yang dibahas dalam penelitian, meliputi tentang teori tentang biodiesel, biodiesel dengan variasi angka iodin, performansi mesin serta ketahanan komponen baik secara kualitatif maupun pengukuran secara kuantitatif melalui partikel logam.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian terdiri dari metode serta diagram alir yang digunakan dalam proses pelaksanaan penelitian dan penyusunan tesis. Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah strategis yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan alur inti penelitian mengenai pengaruh penggunaan biodiesel dengan kandungan berbagai jumlah angka iodin terhadap ketahanan komponen-komponen utama motor diesel sebagai akibat penggunaan bahan bakar JME B20.

BAB V PENUTUP

Bab penutup terdiri dari kesimpulan dari seluruh proses penelitian dan saran terhadap penelitian lanjutan bilamana dilakukan studi lanjut dimasa mendatang.

BAB II
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Umum

Motor diesel masih menjadi pilihan dalam hal penggerak mula dengan alasan adalah mempunyai durability (ketahanan) dan Reliability (keandalan) yang tinggi (*Zuhdi dkk, 1996*). Tentu dengan adanya alasan tersebut durability (ketahanan) dan Reliability (keandalan) yang dimiliki mesin diesel sedapat mungkin dapat dipertahankan atau diharapkan menjadi lebih baik ketika dicoba dengan menggunakan bahan bakar lain. Terutama ketika dicoba dengan Jelantah Methyl Ester yang mempunyai nilai viskositas lebih tinggi.

Motor diesel banyak diaplikasikan pada berbagai area karena efisiensinya yang tinggi serta memiliki ketahanan (Durability), kepercayaan (reliability) yang lebih baik bila dibandingkan dengan beberapa penggerak mula yang lain (*Zuhdi dkk, 1996*).

Pilihan motor diesel sebagai objek penelitian didasarkan pada keyakinan bahwa jenis motor ini masih memiliki daya saing yang baik dengan jenis penggerak mula lainnya secara komersial bahkan pada masa mendatang, motor diesel merupakan jenis penggerak yang perlu diperhitungkan. Dengan makin langkanya bahan bakar konvensional, maka perlu dipikirkan bahan bakar pengganti yang tepat sasaran.

2.2 Jelantah Methyl Ester

Minyak jelantah sisa penggorengan yang tidak bisa dipergunakan harus dibuang. Sisa penggorengan ini akan berdampak kepada lingkungan apabila tidak diolah secara benar. Sisa penggorengan yang tidak berguna ini bisa dimanfaatkan sebagai bio-diesel. Biodiesel tsb dapat dipakai sebagai kompelemen minyak solar (gas oil) sebagai penggerak motor diesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berbagai campuran methyl ester dari jelantah dengan minyak solar tidak menurunkan kinerja mesin secara signifikan (*Zuhdi, 2002*).

Pemakaian Campuran Jelantah Methyl Esther (JME) dan solar dengan perbandingan 10:90 menaikkan daya efektif motor diesel jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar murni pada rpm dan beban tertentu. Kenaikan terjadi pula pada campuran 20:80 dan 30:70. Bahkan dengan komposisi bahan bakar JME 100% pada putaran 2000 rpm terjadi peningkatan daya efektif sebesar 30.34% jika dibandingkan dengan menggunakan bahan

bakar solar. (Fara, 2002). JME akan dipromosikan sebagai bahan bakar pengganti solar dan kemudian akan luas digunakan sebagai bahan bakar dimasa mendatang.

2.3 Uji Ketahanan

Setiap Engine Manufaktur tidak mengetes ketahanan (durability) enginenya dengan bahan bakar alternatif, oleh sebab itu apabila ada bahan bakar alternatif maka perlu adanya pengujian ketahanan engine (uji durability). Ada dua cara yang lazim digunakan dalam pengujian ketahanan engine yaitu pengujian laboratory dengan menggunakan engine test bed atau chasisdinamometer. Pengujian laboratory dengan menggunakan engine test bed atau chasisdinamometer mengikuti prosedur yang diberikan oleh Engine Manufaktur Association (EMA) (Zuhdi 2003)

Penelitian yang memproduksi (membuat) bahan bakar alternatif dianjurkan untuk menguji ketahanan engine selama 200 jam dengan variasi dan waktu pembebanan yang telah ditentukan dan onroad durability test. Onroad durability test bukan pengujian yang dilakukan oleh engine manufaktur. Kelebihan dari pengujian semacam ini adalah kita dapat mengetahui ketahanan secara real dari engine (Zuhdi, 2004).

Cara pengujian yang direkomendasikan EMA adalah :

- Low idle yaitu motor diesel dioperasikan tanpa beban dimana kecepatannya adalah kecepatan minimum motor dapat hidup langkah ini dilakukan selama 30 menit.
- High idle yaitu motor diesel dioperasikan dengan besarnyabeban25% dari maksimum torsi dan kecepatan diatur sebesar 90% dari rated power speed. Langkah ini dilakukan selama 30 menit.
- Rated power speed yaitu pengoperasian mesin diesel pada kecepatan maksimum sesuai dengan spesifikasi motor tersebut kemudian beban diatur pada beban maksimum. langkah ini dilakukan selama 60 menit.
- Peak torque speed yaitu pengoperasian kecepatan dan beban motor diesel pada saat mengalami torsi maksimum langkah ini dilakukan selama 60 menit.

Siklus diatas diulangi lima kali (15 jam) kemudian diistirahatkan selama semalam. Ulangi siklus diatas secara penuh sampai pengoperasian selama 200 jam terpenuhi. Kemudian

sample minyak pelumas diambil setelah motor diesel dijalankan selama 200 jam. (*Baranescu and Lusco, 1982*).

Engine Wear dievaluasi berdasarkan konsentrasi dari kandungan logam yang terdapat pada minyak pelumas. Kandungan logam yang terdapat pada minyak pelumas setelah engine dioperasikan selama 200 jam adalah Tembaga (Cu), besi (Fe), Cromium (Cr), Timah (Pb), Almunium (Al), Silicon (Si) dan Sodium (Na). Sumber utama dari kandungan logam ini yang berhasil diidentifikasi adalah bantalan (bearing), ring, silinder piston, bagian-bagian mesin yang bergerak lainnya yang terbuat dari besi tuang. (*Ali and Hannah, 1996*).

Dengan pengoperasian Mesin selama 200 jam, komponen-komponen diesel yang mengalami keausan dapat ditelusuri dari hasil pengujian secara laboratorium terhadap logam-logam yang berada dalam minyak lumas bekasnya. Dengan diketahui jenis logam yang berada di dalam minyak lumas bekas maka dapat diperkirakan pula komponen mesin yang mengalami keausan atau dapat diperkirakan seberapa jauh mesin itu dapat beroperasi (*Subiyanto, 1990*)

Masih terdapat Keterbatasan informasi tentang efek dari penggunaan Biodiesel secara 100% atau campuran biodiesel dan solar dalam Engine durability (ketahanan mesin) dengan pengoperasian pada kondisi lingkungan yang bermacam-macam. Lebih banyak informasi dibutuhkan untuk menilai continuitas penggunaan bahan bakar ini dalam jarak tempuh dan periode operasi dari heavy duty engine. (*Engine Manufacturers Association 2003*).

2.4 Four Stroke Diesel Engine

Motor diesel adalah jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*), dimana sistem penyalaan bahan bakar dengan cara menyembrotkan bahan bakar dengan pompa bertekanan kedalam silinder yang berisi udara terkompresi. Dengan tekanan dan temperatur udara didalam silinder yang tinggi dimana melebihi temperatur nyala bahan bakar. Maka bahan bakar akan terbakar bersamaan dengan udara bertekanan kemudian akan menghasilkan suatu kerja. Biodiesel sebagai bahan bakar yang akan digunakan dalam motor diesel harus memiliki properties dan karakteristik yang sesuai standart, seperti *viskositas*. Pada motor diesel *viskositas* berpengaruh pada kemudahan bahan bakar untuk mengalir di dalam saluran bahan bakar, pompa, dan injektor. Semakin rendah *viskositas*nya, maka semakin mudah bahan bakar tersebut mengalir. (Oksi, 2008).

2.5 Performa Motor Diesel

Performa pada motor diesel antara lain daya dan torsi dipengaruhi oleh besarnya jumlah kalor hasil pembakaran, yaitu nilai kalor dari hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara kompresi. Bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang rendah memerlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan tenaga sebesar satu daya kuda dibandingkan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang tinggi. Artinya, semakin rendah nilai kalor bahan bakar semakin tinggi tingkat konsumsi bahan bakarnya dibandingkan dengan bahan bakar yang nilai kalornya lebih tinggi. (Sudik, 2013).

Performa motor diesel menggunakan bahan bakar solar tentunya akan mempunyai perbedaan saat di test dengan menggunakan bahan bakar alternatif seperti biodiesel minyak jelantah ini. Walaupun bahan bakar biodiesel yang digunakan bukanlah murni biodiesel (B20), namun akan terjadi perbedaan performa nantinya. (Pramesti, 2013).

Untuk pengoperasian dalam jangka panjang yang lama, motor diesel yang menggunakan bahan bakar alternatif menyebabkan penurunan performa. Pembentukan deposit karbon dan kerusakan juga dapat dilihat secara visual terhadap komponen motor diesel. Kemungkinan yang dapat menyebabkan masalah tersebut terjadi adalah adanya perubahan beban dan putaran saat motor diuji. (Georing and Fry, 1984).

Deposit yang menempel pada *valve* juga bisa menjadi penyebab penurunan performa dari motor diesel. Hal ini karena secara tidak langsung akan memberikan sebuah pengeturan baru pada kondisi motor tersebut; Seperti rasio kompresi yang naik, luas bukaan katup yang menjadi lebih kecil dan tidak dapat menutup sempurna. (Pramesti, 2013).

2.6 Biodiesel dari Jelantah Methyl Ester (JME)

Nilai maksimum harga angka iodin yang diperbolehkan untuk biodiesel yaitu 115 (g I₂/100 g) Dengan mengacu pada standart biodiesel Indonesia, yang mana parameter parameter kita ketahui diatas, dalam rangka untuk memberikan referensi dan informasi terhadap kemudahan dan manfaat dari biodiesel JME sebagai bahan bakar alternatif di masa mendatang, maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian biodiesel yang sengaja diberi iodine yang berbeda-beda mulai dari 0 gram, 10 gram, dan 20 gram, dengan harapan diperoleh bahan bakar dari biodiesel yang mempunyai kandungan iodine yang berbeda beda. Hal ini untuk memberikan gambaran nantinya bahwa biodiesel JME yang beredar dimasyarakat itu mempunyai

parameter dan ukuran standart yang harus dianut. Dan merupakan bahan bakar alternative yang memberikan nilai lebih dibanding dengan bahan bakar yang berasal dari energy fosil. Setelah diperoleh bahan bakar biodiesel JME dengan beberapa variasi iodine, bahan bakar ini akan dipakai sebagai bahan bakar uji pada pengujian ketahanan dengan memakai motor diesel TF 85 MH-di 493cc. pengujian ketahanan ini dilakukan masing masing 200 jam setiap pemakaian bahan bakar dan setelah masa pengujian ketahanan 200 jam itu, pada motor diesel itu dilakukan Engine Chek Up untuk mengetahui ketahanan masing-masing komponen motor diesel baik secara fisik maupun kimia. Secara fisik dilakukan pengukuran komponen sebelum dan sesudah pemakaian, kemudian kita analisis ketahanannya. Secara kimia kita lakukan uji properties baik dari unsure bahan bakarnya yaitu bahan bakar JME tersebut dengan variasi angka iodinnya, dan juga pada minyak pelumas yang dipakai oleh motor diesel tersebut pada setiap pemakaian bahan bakar yang berbeda beda tersebut.

2.7 Iodin Number

Bilangan iodin menyatakan jumlah gram iodin yang diserap dalam 1 gram minyak. Bilangan iodin menunjukkan besarnya tingkat ketidakjenuhan minyak atau lemak. Asam lemak tidak jenuh mampu mengikat iodin dan membentuk persenyawaan yang jenuh. Banyaknya iodin yang diikat menunjukkan banyaknya ikatan rangkap dimana asam lemak tidak jenuh mampu mengikat iodin dan membentuk persenyawaan yang jenuh. Bilangan iodin yang tinggi menunjukkan ketidakjenuhan yang tinggi pula. Bilangan iodin tergantung pada jumlah asam lemak tidak jenuh dalam minyak atau lemak. (Panggabean, 2009). Proses pemurnian sangat mempengaruhi nilai bilangan iodin, dimana semakin panjang proses pemurnian yang dilakukan maka bilangan iodin makin kecil dan begitu sebaliknya. (Panggabean, 2009).

Asam-asam lemak tidak jenuh biasanya berupa lemak yang dapat dimakan (*enable fat*) dan pada suhu kamar berbentuk cair. Angka iodin berhubungan dengan titik cair atau kekerasan dari suatu lemak. Sebagai contoh adalah minyak jagung yang terdiri dari 83% asam lemak tidak jenuh yang mempunyai titik cair -10 sampai -13°C dan angka iod antara 103-128. Sedangkan lemak babi yang terdiri dari 54% asam lemak tidak jenuh mempunyai titik cair 33-46°C dan angka iod sebesar 53-77. Hal ini juga menjelaskan bahwa mengapa lemak yang keras (gliserida dengan rantai utama jenuh) tidak dapat dicerna dengan kadar yang sama seperti lemak ringan yang mengandung gliserida tidak jenuh cukup besar (Aurand et al, 1987).

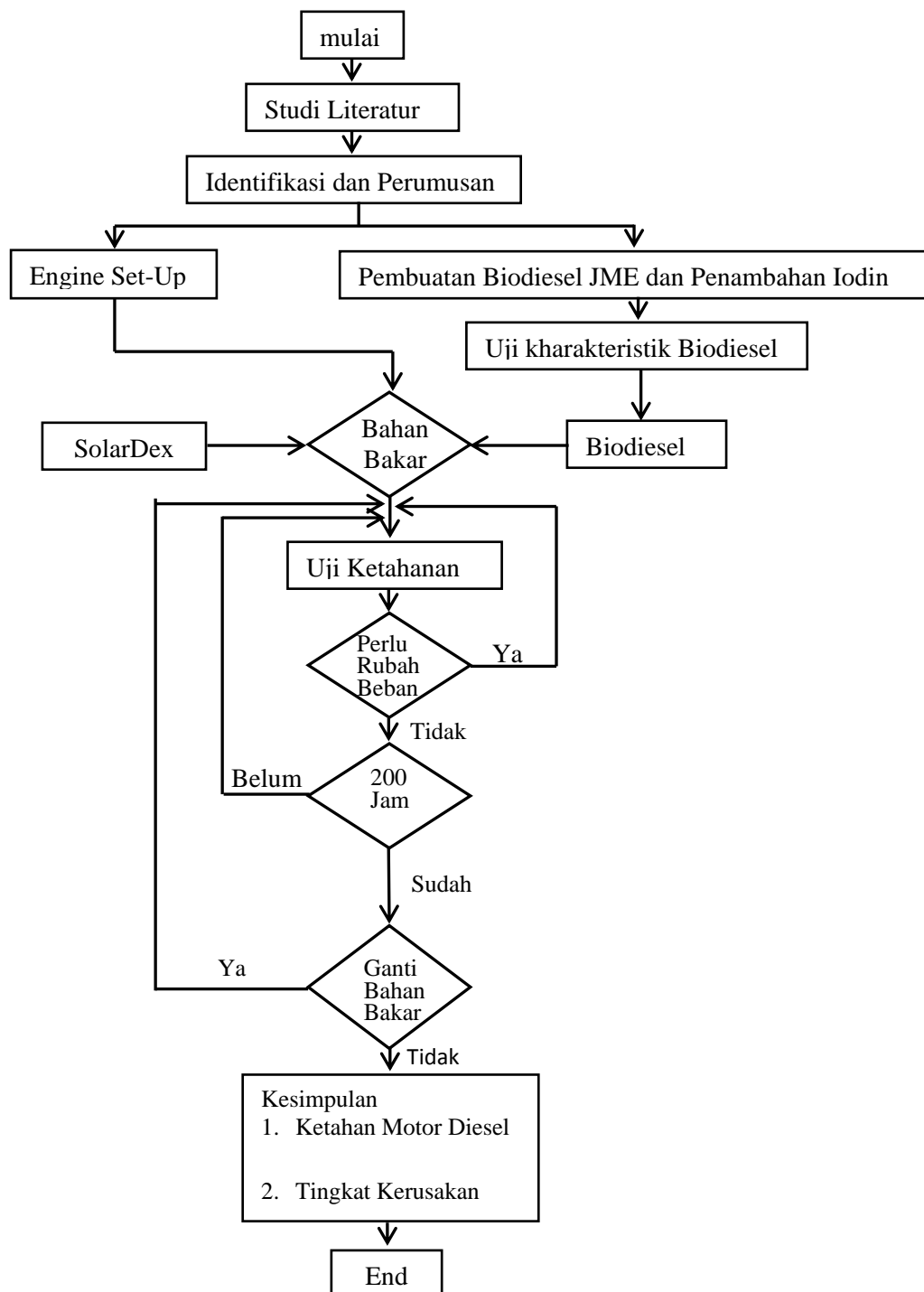
Adanya kandungan iodin pada biodiesel dari Jelantah Methyl Ester (JME) sedikit menyebabkan terjadinya laju keausan pada komponen motor diesel sesuai dengan analisa. Peluruhan unsur logam yang cukup parah terjadi pada *journal bearing*. Terbentuknya *carbon deposit* pada komponen-komponen utama motor diesel salah satu diakibatkan oleh adanya kandungan angka iodin pada bahan bakar yang mudah teroksidasi dengan udara sekitar. *Carbon deposit* pada *cylinder head* sebesar 0,61 gram, piston sebesar 1,00 gram, *exhaust valve* sebesar 0,53 gram dan *intake valve* 0,17 gram. (Pramesti, 2013).

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

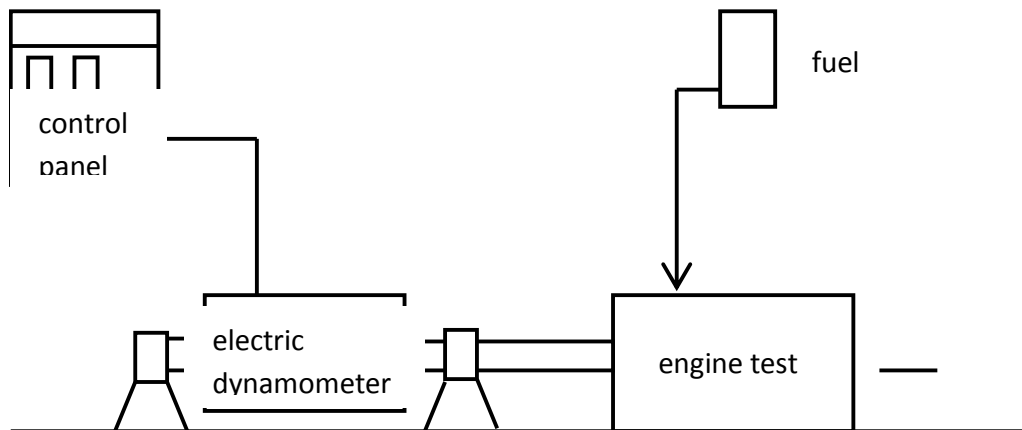
METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode eksperimen. Dimana pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen dalam mengidentifikasi kandungan iodin pada biodiesel dari Jelantah Methyl Ester(JME). Selain itu uji ketahanan (durability) pada motor diesel untuk mengetahuinya dengan menggunakan campuran bahan bakar biodiesel JME dan variasi beberapa besaran angka Iodin. Adapun diagram metodologi yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



13
Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.1 Engine Set-up



Gambar 2. Engine Set-up

Engine set-up dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari motor diesel itu sendiri dengan menggunakan bahan bakar konvensional (solar). Dengan demikian dapat dianggap bahwa unjuk kerja engine pada saat ini merupakan unjuk kerja mula-mula engine. Diharapkan data yang dihasilkan dari penelitian ini dapat digunakan sebagai data pembanding dengan data yang dihasilkan pada eksperimen dengan menggunakan biodiesel. Untuk keperluan ini digunakan sebuah motor diesel empat langkah dengan satu silinder. Prosedur pengujian sesuai dengan skema pengujian motor diesel pada gambar 2. Pada dasarnya prinsip kerja alat uji ini berdasarkan perubahan energi mekanik dari mesin diubah menjadi listrik oleh generator. Dimana putaran dari poros mesin dihubungkan melalui pulley dan V-belt ke poros generator sehingga poros generator berputar dan menghasilkan arus. Kemudian motor diesel dan generator tadi diletakkan di engine stand dan dikencangkan dengan baut pada setiap sisinya.

Tangki modifikasi (gelas ukur dipasang di bagian atas stand beban dengan terlebih dahulu dilubangi bagian bawahnya untuk dimasuki slang bahan bakar menuju pompa injeksi dan diteruskan ke nozzle. Alat ini terdiri dari gelas ukur, slang bahan bakar dan stop watch. Motor diesel dalam kondisi hidup kemudian diamati levelnya pada posisi yang mudah diingat/ditandai setelah itu stop watch dihidupkan. Amati penurunan level bahan bakarnya dalam beberapa menit sesuai dengan ketentuan pengujian.

Dari sini dapat diketahui besarnya daya yang dihasilkan serta besarnya laju konsumsi bahan bakar untuk beban dan putaran tertentu.

Karena adanya perbedaan putaran maksimal generator dengan motor diesel maka diperlukan system transmisi sehingga putaran dari mesin cukup untuk menggerakkan generator tanpa merusak generator.

3.1.1 Pra Eksperimen

Sebelum dilakukan praeksperimen motor terlebih dahulu dibongkar dan dilakukan visualisasi dan pengukuran terhadap komponen-komponen utama motor diesel dengan tujuan untuk mengetahui kondisi awal sebelum proses uji untuk nantinya dibuat perbandingan sebelum dan sesudah proses pengujian dengan pemakaian bahan bakar yang mempunyai kandungan iodine berbeda. Setelah pekerjaan tersebut di atas maka mesin dirakit kembali dan selanjutnya dilakukan pra eksperimen.

Pra Eksperimen dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari motor diesel itu sendiri. Dengan demikian, dapat dianggap bahwa unjuk kerja engine pada saat ini, merupakan unjuk kerja mula-mula engine. Untuk keperluan ini digunakan sebuah motor diesel empat langkah dengan satu silinder. Motor diesel dikopel pada sebuah generator untuk mengukur besarnya daya efektif dari engine. Pada pelaksanaan pengujian tidak dilakukan penyetelan khusus, sehingga kondisi operasi motor diesel pada saat pengujian sama seperti motor diesel yang beroperasi sehari-hari.

3.2 Pembuatan Biodiesel (Jelantah Methyl Ester) Dengan Variasi Angka Iodin

Pembuatan biodiesel ini memerlukan persiapan perlengkapan yang akan digunakan. Alat yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan merupakan peralatan dalam skala laboratorium yang terdiri dari peralatan transesterifikasi dan peralatan uji karakteristik. Sementara untuk bahan yang diperlukan untuk penelitian ini meliputi minyak lemak, KOH dan methanol. Bahan baku yang dipakai pada pembuatan biodiesel ini yaitu minyak goreng dari PKL ayam, lele goreng Kalimaya alun-alun Bangil yang telah digunakan untuk menggoreng lebih dari 3 kali penggorengan. Proses pembuatan biodiesel dan penambahan variasi iodine. Penambahan iodine dilakukan pada minyak jelantah bertujuan agar mendapatkan angka iodine yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini terdapat 3 variasi penambahan iodine, yaitu 0 gr/liter, 10 gr/liter dan 20 gr/liter.

3.3 Uji Karakteristik Biodiesel (Jelantah Methyl Ester)

Pada tahap ini merupakan tahap uji karakteristik yang dilakukan dalam skala laboratorium. Karakteristik utama yang harus diuji adalah sebagai berikut.

Iodine number

Iodine number atau angka iodin merupakan suatu besaran untuk mengukur derajat ketidakjenuhan dalam asam lemak. Ini dinyatakan dengan jumlah gram iodin yang diserap oleh 100 g lemak. Bilangan iodin tergantung pada jumlah asam lemak tidak jenuh dalam minyak.

Viscositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan yang menyatakan besar kecilnya gesekan didalam fluida. Pada motor diesel viskositas berpengaruh pada kemudahan bahan bakar untuk mengalirkan di dalam saluran bahan bakar, pompa, dan injektor. Semakin rendah viskositas bahan bakar, maka semakin mudah bahan bakar tersebut mengalir.

Densitas

Berat jenis (density) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat (kg) per satuan volume (m^3) bahan bakar. Berat jenis dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur temperature dan tekanan yang dialami oleh bahan bakar biodiesel. Semakin tinggi tekanan yang dialami bahan bakar biodiesel maka berat jenisnya semakin tinggi. Sedangkan semakin tinggi temperatur yang dialami bahan bakar biodiesel maka berat jenisnya semakin menurun.

Titik nyala (flash point)

Titik nyala adalah temperatur terendah suatu bahan bakar yang pada saat dipanaskan, maka uap yang bercampur dengan udara dari hasil pemanasan tersebut akan menyala bila diberikan kompresi yang tinggi. Titik nyala pada standard biodiesel memiliki batas nilai minimal 100°C.

Titik Tuang (Pour point)

Titik tuang merupakan batas temperatur tuang dimana mulai terbentuk kristal-kristal paraffin yang dapat menyumbat saluran bahan bakar dan injektor. Pada titik tuang yang tinggi bahan

bakar tidak dapat mengalir sempurna dan tidak akan terjadi atomisasi yang baik ketika diinjeksikan ke ruang bakar motor diesel. Oleh karena itu kandungan properties dari biodiesel sebagai pengganti minyak solar harus diperhatikan kualitasnya.

Lower Heating Value (LHV)

Nilai panas (nilai pembakaran) atau HV (Heating Value) adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1 kg bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Pada gas hasil pembakaran terdapat H₂O dalam bentuk uap atau cairan. Nilai kalor biasanya digunakan pada bahan bakar dan merupakan karakteristik dari bahan bakar tersebut. Terdapat dua macam nilai pembakaran yaitu nilai pembakaran atas atau Higher Heating Value (HHV) dan nilai pembakaran bawah atau Lower Heating Value (LHV). HHV merupakan nilai pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H₂O berbentuk cairan, sedangkan LHV yaitu nilai pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H₂O berbentuk gas.

Bahan Bakar

Bahan bakar yang akan digunakan dalam eksperimen ini terdiri dari 2 jenis bahan bakar, yaitu bahan bakar murni biodiesel dari JME (B20) dan bahan bakar biodiesel dengan variasi iodin tipe A (B20 A) dan bahan bakar biodiesel dengan variasi iodin tipe B (B20 B). Pertamina dex yang digunakan merupakan yang dijual di SPBU milik Pertamina dan biodiesel dari minyak jelantah (JME) yang telah dibuat sebelumnya. Pertamina dex dan biodiesel tersebut nantinya akan dilakukan pencampuran dengan prosentase B20 , sehingga membentuk 3 tipe bahan bakar.

1. Bahan bakar campuran antara solar dengan biodiesel dari minyak jelantah (JME) iodin variasi 1 dengan prosentase 80% solar dengan 20% biodiesel (B20)
2. Bahan bakar campuran antara solar dengan biodiesel dari minyak jelantah (JME) iodin variasi 2 dengan prosentase 80% solar dengan 20% biodiesel (B20A)
3. Bahan bakar campuran antara solar dengan biodiesel dari minyak jelantah (JME) iodin variasi 3 dengan prosentase 80% solar dengan 20% biodiesel (B20B)

3.4 Uji Ketahanan

3.4.1 Ketahanan Motor Diesel

Dalam melaporkan ketahanan motor diesel ini dilakukan dengan memberikan catatan-catatan selama pengujian di laboratorium. Seperti diketahui bahwa siklus pengujian durability menurut standart EMA dibagi menjadi 4 tahapan dengan kecepatan, waktu dan pembebanan yang berbeda di tiap-tiap tahapannya..

Pengujian durability (ketahanan) motor diesel dilakukan selama 200 jam, untuk mengevaluasi pengaruh jangka panjang pengoperasian campuran biodisel-solar pada performance, durability dan sistem injeksi. Campuran 20:80 dan akan divariasikan dengan berbagai besaran angka iodine sampai bisa dinilai besaran minimumnya terhadap durability komponen motor diesel.

Langkah-langkah uji ketahanan:

a. Studi Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mempelajari keadaan engine selama running 200 jam, terutama mempelajari partikel-partikel logam pada minyak pelumas.

b. Pengolahan dan analisa data

Olah data mulai dari perhitungan-perhitungan hingga penyajian hasil pengujian. Hasil-hasilnya diarahkan dalam penganalisaan durability motor diesel.

c. Kesimpulan

Dua poin utama yang akan ditarik dalam pengujian ini yaitu :

- Ketahanan komponen-komponen utama motor diesel.
- Pengamatan fisik secara kualitatif dan pengukuran secara kuantitatif melalui partikel logam (Fe, Cu, Cr, Si, Al, Sn dan Pb)

3.4.2 Variabel Putaran dan Beban

Empat variabel putaran dan empat macam pembebanan akan dilakukan dalam setiap pengujian satu macam bahan bakar.

Variabel putaran disesuaikan dengan tahapan – tahapan yang sudah ditetapkan EMA baik mengenai daya maupun torsi yang diberikan.

3.4.3 Hasil Pengujian Ketahanan

Setelah selesai hasil pengujian dilakukan perhitungan, ditabelkan dan selanjutnya dilakukan analisa untuk menentukan kesimpulan dari pengujian ketahanan ini.

- Kondisi sekeliling (temperature, tekanan barometer dan kelembaban udara)
- Data-data unjuk kerja mesin (putaran, beban, konsumsi bahan bakar, temperatur pendinginan, temperatur gas buang dll).
- Engine check-up terhadap komponen-komponen utama motor diesel
- Kondisi pelumas sebelum dan sesudah dilakukan pengujian dengan bahan bakar yang berbeda-beda angka varian iodinnya
- Peristiwa-peristiwa khusus lain yang berkaitan dengan jalannya pengujian.

Sebelum melaksanakan pengujian, perlu dilakukan persiapan dan pengecekan dari perangkat pengujian, adapun yang harus dilakukan dalam persiapan pengujian adalah:

- a. Memeriksa kebersihan tangki modifikasi dan filter bahan bakar
- b. Mengontrol persediaan bahan bakar dalam tangki modifikasi
- c. Memeriksa kondisi volume air pendingin
- d. Memeriksa oli pelumas motor diesel
- e. Memeriksa baut-bautpengencang motor dengan dudukannya untuk menghindari kecelakaan yang mungkin terjadi
- f. Menyiapkan dan memasang semua peralatan pengujian
- g. Menyiapkan alat ukur tambahan seperti tachometer dan thermometer digital, dll.

Sedangkan langka-langkah pengujian motor diesel adalah sebagai berikut:

- a. Menyapkan bahan bakar ke dalam gelas ukur sehingga dapat diamati pemakaian bahan bakarnya
- b. Menghidupkan motor dan membiarkan motor dalam kondisi stasioner selama 5-10 menit sebagai pemanasan
- c. Mengatur motor pada posisi stasioner dengan putaran paling rendah
- d. Mengatur bukaan katup gas secara perlahan-lahan sampai motor mencapai putaran maksimal

- e. Mencatat besarnya putaran motor, tegangan, dan arus yang ditimbulkan setelah motor diberi pembebanan dengan jumlah, waktu dan konsumsi bahan bakar yang ditentukan. Setelah data dicatat semua, turunkan putaran motor sekaligus diikuti dengan penurunan beban

Hasil pengukuran dari langkah-langkah diatas selanjutnya dilakukan perhitungan dan dibuatkan tabel guna menentukan beban-beban yang perlu diamati sebagai perbandingan dengan semua variable bahan bakar yang digunakan.

Untuk mengevaluasi tingkat kerusakan motor diesel, diamati dengan secara visual serta uji laboratorium. Engine check up dilakukan dengan pembongkaran motor dan memeriksa komponen-komponen utama pada sistem pembakaran. Data-data visual komponen-komponen utama seperti pada piston, cylinder head, intake dan exhaust valve serta nozzle dibandingkan. Dari sini kita melihat perbedaannya. Pelumas juga merupakan pembanding dalam menguji tingkat kerusakan motor dengan melihat sifat fisika dan kimia serta unsur-unsur logam yang terkandung didalamnya maka kita bisa membandingkan tingkat kerusakan motor.

Dari hasil pengujian kimia pada laboratorium yang dapat dilihat pada tabel Analisa akan dilakukan pada setiap karakteristik dari minyak pelumas tersebut antara lain : viskositas 40°C dan 100°C, Total Base Number (TBN) dan Flash point, kemudian dilakukan juga analisa dari kontaminan antara lain: kadar air, sediment kandungan abu (ash content) dan kandungan sulfur dan melakukan juga analisa Sebagai parameter untuk mengetahui kalitas pelumas bekas maka digunakan batasan dari Mesran SAE 40B. Mesran SAE 40B dijadikan sebagai acuan karena merupakan minyak pelumas yang dianjurkan untuk dipakai pada motor diesel yang digunakan untuk pengujian ini.

3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh setelah melakukan uji karakteristik pada biodiesel dari minyak jelantah (JME) yang telah dibuat sebelumnya. Disamping itu pula juga dibutuhkan data pada saat uji ketahanan pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar yang telah disediakan.

3.6 Analisa Data dan Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah menganalisa pengaruh angka iodin, viskositas dan titik bakar dari biodiesel dari minyak jelantah (JME) terhadap ketahanan komponen-komponen utama motor diesel.

3.7 Kesimpulan

Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan tesis ini. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tesis supaya lebih sempurna.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan akar yang digunakan dalam pengujian ini adalah minyak solar produk Pertamina. Sedangkan biodiesel yang digunakan sebagai campuran yaitu JME (Jelantah Methyl Ester). Dalam pengujian karakteristik biodiesel, diamati sifat-sifat fisik dari biodiesel itu sendiri dan biodiesel dengan varian iodinnya. Sedangkan minyak pelumas yang dipakai adalah Mesran SAE 40B, yang merupakan minyak pelumas yang dianjurkan untuk dipakai pada motor diesel yang digunakan dalam pengujian ini.

4.1 Biodiesel Jelantah Methyl Ester dan Variasi Angka Iodin

Bahan utama dari biodiesel ini adalah minyak jelantah yang dalam produksinya dilakukan dengan proses esterifikasi. Proses pembuatan biodiesel ini dilakukan berulang-ulang mulai skala kecil sampai diperoleh hasil produk biodiesel yang diinginkan. Dalam memproduksi biodiesel tidak selalu memperoleh hasil produksi yang sama, sesuai dengan metode yang telah direncanakan bahwa hasil dari biodiesel akan bervariasi terhadap jumlah produksinya. Setiap memproduksi biodiesel komposisi hasil selalu dicatat dan hasilnya diamati dari segi produksi dan karakteristik fisik dan visualnya. Berdasarkan pengalaman warna dari ester yang terbentuk sangat erat kaitannya dengan densitas, viskositas, dan jumlah gliserin yang dihasilkan. Dalam penelitian ini memproduksi biodiesel dari jelantah hasilnya sudah bisa dikatakan mirip-mirip seperti yang dihasilkan National Biodiesel Board, dan hasil rata-ratanya sudah mendekati dengan referensi, produksi biodiesel berada dalam kisaran 80-85%, sedangkan gliserin yang dihasilkan berkisar antara 5-10%. Banyak dan sedikitnya gliserin yang dapat diproduksi juga sangat erat kaitannya dengan karakteristik fisik yang dihasilkan. Warna juga dapat sebagai indikator keberhasilan dari pemrosesan biodiesel. Dengan kualitas bahan baku yang sama, apabila hasil gliserinnya sedikit dan warna ester yang cenderung gelap akan diperoleh viskositas yang tinggi. Parameter-parameter properties biodiesel JME bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1: Standart Biodiesel Indonesia

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m ³	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka Setana		Min.51
4	Titik nyala (mangkok)	°C	Min.100

	tertutup)		
5	Titik kabut	°C	Maks. 18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		Maks. no 3
7	Residu karbon - dalam contoh asli, atau - dalam 10 % ampas distilasi	%-massa	Maks 0,05 Maks 0,30
8	Air dan sedimen	%-vol	Maks. 0,05
9	Temperatur distilasi 90%	°C	Maks.360
10	Abu tersulfatkan	%-massa	Maks. 0,02
11	Belerang	ppm-m (mg/kg)	Maks. 100
12	Fosfor	ppm-m (mg/kg)	Maks. 10
13	Angka asam	mg-KOH/g	Maks. 0,8
14	Gliserol bebas	%-massa	Maks. 0,02
15	Gliserol total	%-massa	Maks.0,24
16	Kadar ester alkil	%-massa	Min. 96,5
17	Angka iodium	%-massa (g-I ₂ /100 g)	Maks. 115
18	Uji halpen		Negative

Sumber : (SNI 04-7182-2006)\

Jelantah Methyl Ester (JME) dibuat melalui proses reaksi transesterifikasi dari minyak goreng bekas. Reaksi transesterifikasi sering disebut reaksi alkoholisis yaitu reaksi antara trigliserida dengan alkohol yang akan menghasilkan ester dan gliserin. Alkohol yang digunakan sebagai reaktan dalam reaksi ini adalah metanol. Pada reaksi transesterifikasi ditambahkan katalis untuk mempercepat laju reaksi dan meningkatkan perolehan hasil reaksi. Katalis yang digunakan untuk reaksi ini adalah katalis basa yang berupa potasium hidroksida (KOH).

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa kali percobaan reaksi transesterifikasi. Percobaan dilakukan dengan variasi jumlah metanol dan katalis yang digunakan. Jumlah metanol yang digunakan adalah 10-20% berat minyak jelantah. Dari beberapa percobaan tersebut diketahui bahwa jumlah metanol yang memberikan hasil jelantah methyl ester yang paling optimal adalah antara 10-15% berat minyak jelantah. Sedangkan katalis yang ditambahkan sesuai dengan literatur adalah kurang lebih 1-1,5% dari berat minyak jelantah. Proses reaksi harus dilakukan di dalam wadah kaca, enamel atau stainless steel dan tidak boleh menggunakan wadah aluminium atau plastic karena akan berpengaruh terhadap reaksi. Pada penelitian ini proses reaksi menggunakan wadah stainless steel dan wadah kaca berupa gelas kimia (beaker glass). Proses transesterifikasi dilakukan dengan temperatur reaksi 55-68°C. temperature

reaksi harus dijaga agar tidak lebih dari 70°C karena pada temperatur tersebut methanol telah mencapai titik didihnya. Jika pemanasan yang dilakukan mencapai temperatur diatas 70°C maka methanol akan menguap. Reaksi transesterifikasi berlangsung dalam waktu kurang lebih 60 menit. Larutan diatur secara terus-menerus selama proses reaksi dan pada tahap ini dihasilkan larutan keruh yang berwarna kuning kecoklatan.

Setelah proses pengadukan selama kurang lebih 60 menit, hasil reaksi didiamkan selama 6-12 jam, hingga terbentuk 2 lapisan yang berbeda yaitu jelantah methyl ester dan gliserin. Tahap selanjutnya jelantah methyl ester dipisahkan dari gliserin. Jelantah methyl ester yang telah dipisahkan dari gliserin selanjutnya dicuci dengan menggunakan air suling. Proses pencucian dilakukan dengan metode bubbling selama kurang lebih 60 menit, jelantah methyl ester yang telah dicuci kemudian di endapkan selama 12-24 jam, maka akan terbentuk dua lapisan yang berbeda yaitu biodiesel dan air pencuci. Langkah selanjutnya biodiesel dipisahkan dari air pencuci, berikutnya dilakukan proses pengeringan yang bertujuan untuk menghilangkan air yang masih tersisa dalam biodiesel (jelantah methyl ester). Proses pengeringan dilakukan dengan cara memanaskan biodiesel sampai dengan temperature diatas titik didih air yaitu antara 120-130°C, dimana proses pengeringan dilakukan dalam waktu 30-45 menit.

Proses reaksi transesterifikasi dengan menggunakan perbandingan komposisi tersebut di atas menghasilkan jelantah methyl ester kurang lebih 80-90% dan gliserin kurang lebih 5-10%.

Dibawah ini Hasil Pengujian Properties Biodiesel JME dengan Variasi Angka Iodin.

Tabel 2 Hasil pengujian properties biodiesel JME dengan variasi angka iodine.

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Pengujian
1	Kinematik Viscosity at 40°C	cSt	17,16	ASTM D 445-97
2	Pour Point	°C	5	ASTM D 97-85
3	Cloud Point	°C	9	ASTM D 2500
4	Flash Point	°C	188	ASTM D 93-00
5	Sulfur Content	%	0,26	SNI 7431:2008
6	Sediment Content	%	9.78	ASTM D 473-02
7	Water Content	%	0,13	ASTM D 1796
8	Ash Content	%	0,012	ASTM D 482
9	Densitas	Gr/cm ³	0,90	Piknometer
10	Distillation 90% Complete	°C	410	ASTM D 86
11	Cetane Index	-	46,22	ASTM D 4737:2011
12	Lower Heating Value	BTU/lb	18.705	ASTM D 240

NB : Laboratorium Energy dan Lingkungan (Robotika) ITS Juni 2017

Lanjutan Hasil Uji Tabel Properties

NO	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
2	10 (B20)	Bilanganlod	64,59	-	Gravimetri
3	11 (B20A)		67,14		
4	12 (B20B)		58,17		

NB : Laboratorium Energy dan Lingkungan (Robotika) ITS Juni 2017

4.2 Pemeriksaan dan Pengukuran Komponen Utama Motor Diesel

Untuk mengetahui tingkat kerusakan komponen maka dalam penelitian ini dilakukan pemeriksaan dan pengukuran terhadap komponen utama motor diesel sebelum dan sesudah pemakaian / pelaksanaan pengujian. Pemeriksaan dan pengukuran ini, meliputi secara fisik dan visual. Secara rinci bisa dijelaskan sebagai berikut :

4.2.1 Pemeriksaan dan Pengukuran secara Fisik.

- Cylinder Head (Kepala Silinder)
 1. Memeriksa secara visual; memeriksa bagian kepala silinder terhadap keretakan-keretakan dengan menggunakan “flow detecting agent”/magnetic crack detector.
 2. Memeriksa kerataan permukaan kepala silinder dan kerataan permukaan manifold dengan menggunakan straight edge dan feeler gauge. Bila menyimpang dari limit kelengkungannya maka harus diperbaiki atau diganti kepala silindernya. Limit kelengkungannya: 0,15 mm (0,0059 inchi). (Lab Motor Bakar Dalam ITS 2006).
Pada pemeriksaan permukaan silinder head ini tampak mengalami keausan bekas terkikis oleh kerak, bahkan pada pemakaian bahan bakar B20A, lubang nozzle tertutup kerak dan katup isap dan katup buang juga berkerak, yang mengakibatkan kompresi hilang.
- Cylinder Liner
 1. Pengukuran diameter bagian dalam silinder (cylinder liner) antara posisi depan-belakang (fore-after) pada posisi dari atas sampai ke bawah (minimal lima posisi), kemudian dibandingkan dengan diameter standar, dan interferensi liner dengan lubang silinder sebesar 0,01 sampai 0,04 mm. Pengukuran diameter dalam liner

dilakukan pada titik 50mm, dibawah permukaan atas blok.Mengambil ukuran terkecil pada dua pengukuran tersebut untuk menentukan ukuran piston..

2. Pengukuran diameter bagian dalam silinder (cylinder liner) antara kiri-kanan (port-starboard) pada posisi dari atas sampai ke bawah (minimal lima posisi) dibandingkan dengan diameter standar.
 3. Pengukuran liner bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh diameter dinding silinder (cylinder liner) yang sudah mengalami keausan akibat gesekan dengan torak (badan torak) dan juga adanya kemungkinan keausan dinding silinder yang tidak merata.
 4. Pastikan bahwa dinding silinder masih dalam keadaan standard an tidak ada yang termakan, tergores, aus atau membentuk oval yang dapat menyebabkan lolosnya udara kompresi
 5. Bila terdapat goresan/alur memanjang dari atas ke bawah maka lebih baik segera dilakukan penggantian silinder baru
 6. Pastikan semua lubang-lubang silinder oil part dapat mengeluarkan minyak pelumas dengan baik Pada saat diperiksa dan diukur masih dalam batas yang diijinkan,meskipun sedikit mengalami keausan akibat dari pena torak yang goyah.
- Injector (Nozzle)
 1. Pastikan nozzle bekerja dengan baik tidak terjadi macet, menetes, apalagi pada pipa bahan bakar ada yang rusak.
 2. Tidak terjadi kesalahan penyételan pada kopling pompa penyemprot bahan bakar, hindari kondisi kam yang sudah aus atau permukaan bagian yang menempel pada cam sudah aus.
 3. Hindari penyételan penyemprotan bahan bakar yang kurang tepat, bila terjadi penyemprotan terlalu pagi, lambatkan dan bila terjadi penyemprotan terlalu lambat maka percepatkan.Pada pemeriksaan nozzle, juga sama tidak mengalami perubahan ukuran, tapi hal ini bukan berarti nozzle tidak bekerja (loss injection),juga bukan karena komponen nozzle mengalami keausan, defleksi/pegas terlalu lentur atau yang lain tapi semata disebabkan oleh proses pembakaran yang kurang baik, akibat dari mutu bahan bakar.

- Piston (Torak)
 1. Memeriksa permukaan dan alur ring torak terhadap kemungkinan aus, rusak atau kesalahan lain. Bila perlu diadakan pergantian torak.
 2. Memeriksa dudukan penatoraknya dengan jalan ditekan dengan ibu jari, setelah terlebih dahulu dipanaskan pada suhu 60-70°C bila dudukan pena longgar mengganti torak dan atau pena toraknya.
 3. Penggukuran diameter piston dilakukan setelah piston dilepas, ring piston dilepas terlebih dahulu menggunakan ring piston expander tool, kemudian dilakukan pengukuran dengan menggunakan micrometer. Pada pemeriksaan dan pengukuran diameter piston tidak mengalami perubahan (tabel), namun permukaan piston mengalami keausan yang besar, akibat dari proses pembakaran yang mengenainya karena permukaan inilah yang langsung berhubungan dengan proses pembakaran. Di daerah permukaan piston inilah tempat berkumpulnya deposit yang mengakibatkan pembakaran tidak berjalan sempurna, dan partikel-partikel itu terbawa ke carter pelumas/oil pan melalui ring piston oli dan sebagian menetes saat piston bergerak naik turun.

Tabel 3 hasil pengukuran diameter piston

Piston	Jenis pengukuran						Standar
	B20		B20A		B20B		
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
Atas	84,58	84,58	84,58	84,58	84,58	84,58	Di ijin
Tengah	84,78	84,78	84,78	84,78	84,78	84,78	Di ijin
Bawah	84,89	84,89	84,89	84,89	84,89	84,89	Di ijin

NB : Lab MPP ITS 2017

- Ring Piston
 1. Memeriksa celah ujung dan celah samping ring torak bila melebihi batas-batas yang diijinkan maka harus diadakan pergantian dengan yang baru.
 2. Penggukuran ring piston dilakukan secara berurutan mulai dari ring piston kompresi 1,2 dan 3 serta 4 ring piston untuk oli. Penggukuran ketebalan ring piston ini dapat dilakukan setelah ring piston dilepas dari piston crown. Pada pemeriksaan dan pengukuran masing-masing ring tidak mengalami perubahan spec, baik tebal, maupun sudut kemiringan dari masing-masing ring. Ring 1 tetap

dengan sudut kemiringan 5° dan ring 2, ring 3, tetap dengan kemiringan $1-1,5^\circ$. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4 hasil pengukuran ring piston kompresi dan olie

Ring	Jenis pengukuran (mm)						Toleransi yang diijinkan
	B20		B20A		B20B		
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
Ring 1	2,49	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	0,05
Ring 2	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	0,05
Ring 3	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	0,05
Ring 4	3,99	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	0,05

NB : Lab MPP ITS 2017

- Bantalan (Bearing)

1. Memeriksa permukaan bantalan terhadap kemungkinan goresan atau dudukannya yang mengalami kerusakan, bila terjadi hal-hal yang melebihi batas yang diijinkan maka perlu diadakan perbaikan atau diganti baru.

Bantalan ini secara fisik, pada saat pengukuran tidak mengalami keausan(tabel),dikarenakan keterbatasan tingkat ketelitian dari alat ukur, namun bila diukur dengan alat ukur yang lebih teliti, semisal menggunakan micrometer yang ada dial indikatornya,kemungkinan keausan itu terbaca, mengingat secara visual tampak permukaan bantalan terdapat goresan-goresan halus akibat terkikis.

Tabel 5 hasil pengukuran bantalan

Bantal an	Jenis pengukuran (mm)						Toleransi yang diijinkan
	B20		B20A		B20B		
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
Atas	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	Di iijinkan
Bawah	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	Di iijinkan

NB : Lab MPP ITS 2017

- Katup (valve)

1. Memeriksa bagian kepala katup dan batang katup apakah terbakar, berkerak, berkarat atau bengkok. Mengganti bila terdapat kerusakan atau tebal kepala katup (margin) sudah kurang dari ukuran batasnya. Ukuran minimum limit 0,5 mm

- (0,0197 inchi) spesifikasi 1,0 mm (0,0394 inchi) pada katup masuk dan katup buang.
2. Menggosok permukaan katup pada mesin gerinda katup dengan sudut singgungan 45° . Panjang katup keseluruhan 136mm (95,35inchi) pada katup masuk dan katup buang. Bila dilakukan penggosokan pada ujung batang katup harus hati-hati dan tidak melebihi dari 0,5 mm (0,0197 inchi). Pada pemeriksaan kelihatan sekali kepala katup dan batang katup hitam akibat terbakar dan berkerak, bahkan pada pemakaian bahan bakar B20A, kepala katup ini tertutup jelaga dan batang katup basah, menghitam membentuk kerak.
 3. Memperbaiki atau mengganti bila dudukan katup ini mengalami kerusakan atau sudah tidak rata lagi. Batas limit lebar dudukan katup 2.5 mm (0,0984 inchi) dan spesifikasi lebar dudukan katup 2,1 mm (0,0827 inchi) untuk katup masuk dan katup buang.
 4. Bila dudukan katup perlu diperbaiki digosok, pertama-tama bosh pengantar katup harus diperiksa terlebih dahulu apakah sudah memenuhi syarat atau tidak, baru dilakukan perbaikan dudukan katup, seperti terlihat pada gambar dibawah ini. (Lab. Motor Bakar Dalam ITS 2006)

4.2.2 Pemeriksaan Secara Visual/Visualisasi Komponen Motor Diesel.

Setelah dilakukan pengujian ketahanan selama masing-masing 200 jam untuk bahan bakar B20, B20A, B20B, selanjutnya adalah pengamatan visual serta penghitungan gram atau penumpukkan karbon dan bahan pengotor lain di dalam ruang bakar. Dari hasil pengamatan visual sebelum dan sesudah pengujian ketahanan, maka didapatkan hasil visual dari komponen-komponen utama motor diesel antara lain injector (gambar 3), silinder head (gambar 4), piston (gambar 5), ring piston (gambar 6), ring olie (gambar 7), bantalan (Gambar 8), silinder liner (Gambar 9), katub/valve (Gambar 10), pada masing-masing penggunaan bahan bakar.

Dari hasil pengamatan visual yang dilakukan baik sebelum dan sesudah pengujian ketahanan didapat beberapa penjelasan, hal hal yang berkaitan dengan perlakuan yang dikenainya pada komponenkomponen utama motor diesel sebagai berikut :

➤ Injector / Nozzle:

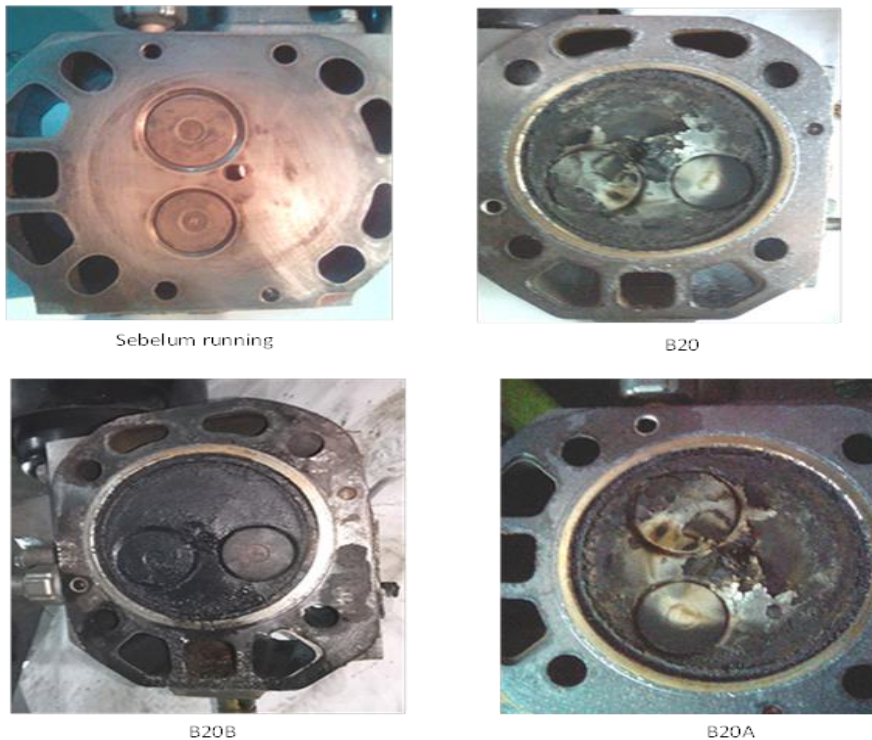


Gambar 3 Injector

Tampak perbedaan sebelum dan sesudah pengujian, tampak bersih (gambar sebelum run) dan kotor sampai kehitaman, cenderung basah (gambar B20 dan B20B) sedangkan kondisi yang sangat parah terlihat pada injector saat pemakaian bahan bakar B20A. Disamping hampir seluruh permukaan kehitaman, penuh dengan abu / jelaga, hal inilah yang mengakibatkan motor pada waktu running dengan penggunaan bahan bakar B20A sempat terjadi “ Black Out “/mati tiba tiba saat jam ke 178, dari waktu running 200 jam yang direncanakan. Hal ini menandakan bila di daerah sekitar injector terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Salah satu unsur senyawa yang tidak mendukung pembakaran sempurna adalah adanya unsure sulfur (Pada Bahan Uji, sulfur = 0,26%) yang bersifat korosif, (Pada Bahan Uji ash content = 0,012%) yang menandakan kualitas kebersihan dari bahan bakar, (Pada Bahan Uji cetane index = 46,22) yang sangat berpengaruh terhadap ignition quality/delay periode, (Pada Bahan Uji flash point = 188oC) factor keselamatan dalam hal distribusi dan fungsinya sebagai bahan bakar , (viscosity kinematic = 17,6 cSt) hal ini menunjukkan sulit dan mudahnya bahan bakar untuk mengalir.

Hal inilah factor-factor penyebab dari tampilan injector sehingga terlihat berbeda seperti terlihat pada gambar. Khusus pada saat penggunaan bahan bakar B20A dengan tampilan injector seperti diatas tersebut , motor menjadi mati tiba-tiba, Karena kompresinya hilang (loss) , nozzle tertutup kerak di cylinder headnya dan katub isap maupun katub buang juga berkerak.

➤ Cylinder Head / Kepala Silinder:



Gambar 4 Cilynder Head

Kepala silinder dipasang pada permukaan blok silinder dan membentuk sebagian ruang bakar utama. Pada kepala silinder dipasang nozzle untuk menginjeksi bahan bakar, manifold masuk untuk memasukkan udara yang diperlukan dalam pembakaran, manifold keluar untuk membuang gas pembakaran ke udara luar, system klep untuk mengatur penghisapan pembuangan, system pemanas untuk memanasi udara. Dalam ruang bakar pada waktu motor masih dingin untuk memudahkan menghidupkan motor. Kepala silinder umumnya dibuat dari besi tuang. Tipe ini adalah ruang tunggal, bahan bakar di injeksi langsung kedalam ruang bakar yang dibuat berbentuk cekung pada bagian kepala torak. Bahan bakar ini terbakar dengan sendirinya oleh panas yang tinggi pada saat kompresi. Keistimewaan tipe ini adalah konstruksinya sederhana, tenaga motor besar, serta efisiensi panas yang tinggi, kerugian pendinginan rendah yang berarti komsumsi bahan bakar rendah serta mudah menghidupkan motor tanpa pemanasan pendahuluan pada temperature biasa. Pada gambar terlihat sangat jelas abu dan kerak yang terbentuk setelah pembakaran (B20A dan B20), sedangkan B20B abu tidak begitu banyak, namun kerak terlihat sangat jelas dan kondisi permukaan silinder basah. Hal ini sebagai akibat dari pembakaran yang cepat dan suhu kompresi dan suhu di ruang bakar terjadi kenaikan yang tiba-tiba, akibat dari

tersumbatnya lubang nozzle oleh kerak di cylinder head dan dibarengi oleh kondisi katub isap dan katub buang yang juga berkerak.

Pada bagian cylinder head terjadi beberapa pengerakkan akibat pembakaran yang tidak sempurna dan juga karat, terlihat pada Gambar 4 yang membandingkan antara kondisi sebelum dan sesudah pengujian. Hal ini disebabkan karena bahan bakar biodiesel yang digunakan pada saat pengujian ketahanan selama 200 jam memiliki kandungan air yang cukup tinggi dan juga mengandung hidrogen sulfida (H_2S) yang bersifat asam dan korosif.

➤ Piston / Torak:



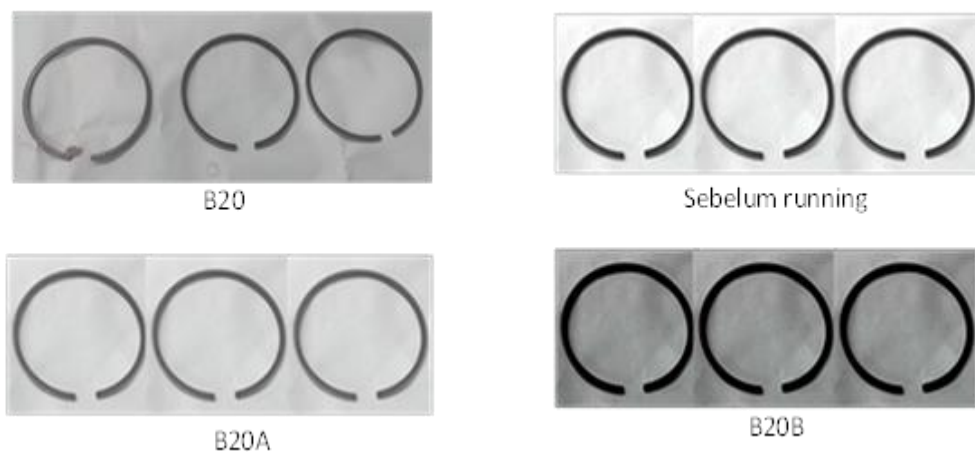
Gambar 5 Piston

Piston/Torak selalu bergerak bolak balik di dalam silinder dan dihubungkan dengan batang torak dengan pena torak. Torak memutar poros engkol melalui batang torak dan selalu bersinggungan dengan tekanan dan temperature tinggi. Oleh sebab itu torak harus dibuat oleh bahan yang ringan, kuat, tahan panas dan tahan aus. Bahan torak umumnya terbuat dari campuran aluminium. Tipe lainnya torak yang keliling luar dilapisi timah agar tahan singgungan dengan dinding silinder. Permukaan torak terbentuk atas bermacam-macam tipe. Tujuannya untuk membentuk ruang bakar dan menimbulkan pusaran bahan bakar pada saat penyemprotan. Tipe cekungan yang paling dalam dan tipe toroidal swirl kebanyakan digunakan untuk ruang bakar langsung (motor uji).

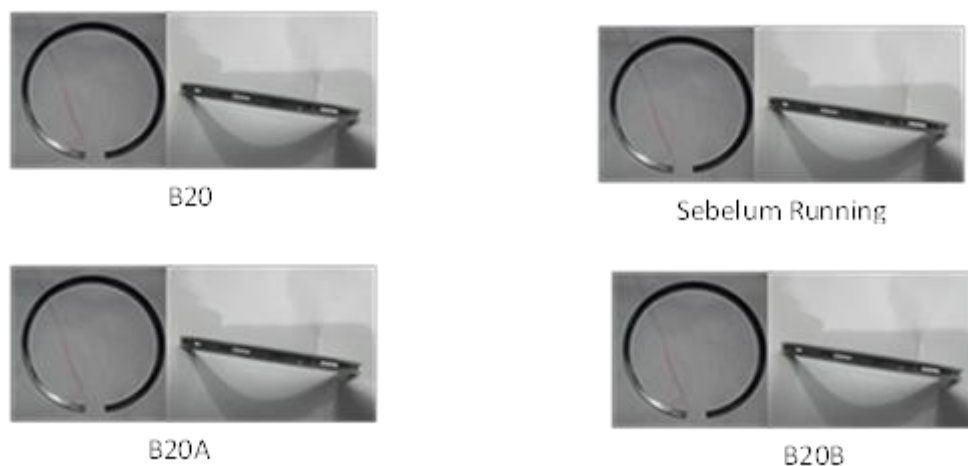
Pada gambar diatas terlihat bahwa saat penggunaan bahan bakar B20 sangat terlihat kehitaman bekas kena bakaran/api, juga banyak abu/jelaga. Hal ini sebagai akibat fungsinya untuk membentuk ruang bakar dan menimbulkan pusran bahan bakar pada saat penyemprotan/injeksi. Juga akibat dari pemakaian bahan bakar biodiesel yang mempunyai karakteristik berbeda dengan bahan bakar solar pada umumnya.

Pada bagian piston terlihat di Gambar 5 terdapat beberapa pengerakan yang terjadi dan juga terdapat karat yang terbentuk di bagian atas piston. Penyebabnya bisa disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna, karena jumlah campuran bahan bakar biodiesel dan udara yang kurang optimal / komposisi tidak standart.

➤ Ring Piston / Ring Torak:



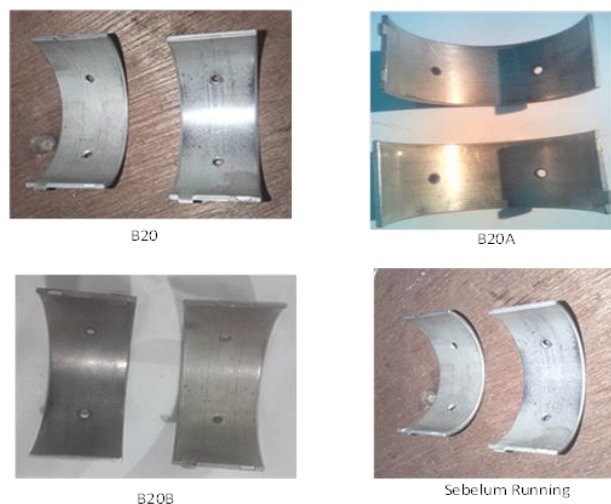
Gambar 6 Ring Piston



Gambar 7 Ring Olie

Ring piston ada dua macam yaitu ring kompresi dan ring olie. Ring kompresi terdiri dari 3 buah ring dan 1 ring olie. Ring kompresi berfungsi untuk mencegah kebocoran kompresi dan gas pembakaran serta menyalurkan sebagian panas dari torak ke air pendingin melalui dinding silinder. Ring olie berfungsi untuk menyerut sisa olie yang telah melumasi pada dinding dalam silinder serta memberi olie pelumas pada bagian ujung kecil batang torak. Pada gambar tidak tampak perbedaan pada masing-masing penggunaan bahan bakar, mengingat umumnya ring piston ini terbuat dari besi tuang yang mempunyai sifat tahan panas, tahan aus, dan mempunyai gaya pegas dan juga permukaan yang dilapisi chrome agar lebih tahan terhadap aus serta untuk memperbaiki penyesuaian permukaan antara ring dengan dinding silinder.

➤ Bantalan:



Gambar 8 Bantalan

Bantalan umumnya tri metal yang terdiri bagian atas dengan bahan helmet metal dan bagian belakang dibuat dari bahan baja lunak. Pada bantalan ini ada lubang dan alur oli untuk saluran oli dari blok silinder. Pada gambar tidak ada perubahan berarti secara fisik, pengukuran sebelum dan sesudah pengujian juga tidak menunjukkan perubahan ukuran/tetap, hanya tampilan visual memperlihatkan adanya guratan-guratan halus akaibat terkikis. Hal ini akan kelihatan/terdeteksi bila dipakai alat yang mempunyai ketelitian tinggi, semisal x ray atau alat foto yang mempunyai daya pembesaran yang tinggi.

➤ Cylinder Liner:



Gambar 9 Cilynder Liner

Cylinder liner ini erat hubungannya dengan silinder blok. Diameter keliling harus diukur pada titik dekat puncak dimana ring piston bergerak, bagian tengah dan bagian bawah dari sisi kerja piston. Bila hasil pengukuran pada lubang silinder terdapat melebihi limit keausan yang ditentukan 0,15 mm (0,0059 inch), piston dan silinder liner harus diganti. Silinder liner dapat dilepas dengan menggunakan silinder liner remover (specia tool noo.09218-87301) dengan menggunakan palu. Mengukur celah piston dengan lubang liner. Celah spesifikasi 0,10-0,13 mm (0,0039-0,0051 inch). Pada gambar (B20, B20A dan B20B) tampak ada beberapa kerak / jelaga di beberapa tempat, namun selama pengujian tidak begitu besar pengaruhnya dan masih pada batas yang diijinkan setelah diadakan pengukuran selama pengujian 3 X 200 jam dengan bahan bakar yang berbeda (lihat tabel). Namun kondisi ini perlu di teliti lebih lanjut untuk keperluan penggunaan yang mempunyai life time lebih panjang.

➤ Valve / Klep



Gambar 10 Valve/Katub

Valve/klep berfungsi untuk memasukkan udara dan membuang gas hasil pembakaran dengan cara membuka dan menutup klep pada saat yang tepat. System klep terdiri dari klep dan pegas untuk membuka dan menutup langsung ruang bakar, gigi timing untuk memindahkan putaran poros engkol ke poros nok, tappet (pengangkat klep) untuk membuka dan menutup klep oleh perputaran poros nok, batang pendorong (push rod), lengan pengungkit (rocker arm). Pada motor 2 tak tidak ada klep hisap akan tetapi ada ruang bilas (scavenging port). Dibagian silinder untuk memasukkan udara. Pembukaan klep oleh poros nok yang diputar oleh poros engkol dengan kecepatan putaran setengah putaran poros engkol, pada batang klep dipasang pegas klep dan dudukan pegas. Pada gambar hampir semua klep terlihat menghitam bekas terbakar, dan pada penggunaan bahan bakar B20A sangat basah dibanding valve saat pemakaian bahan bakar B20 dan B20B. Hal ini sebagai akibat dari terbakarnya saat proses pembakaran, namun tidak mengakibatkan adanya keausan yang tinggi dan masih dalam batas-batas yang diijinkan.

4.2.3 Penumpukan Deposit Pada Ruang Bakar Motor Diesel

Pada beberapa komponen tersebut diatas setelah dilakukan pengumpulan massa karbon dan kotoran lain yang ikut masuk ke dalam ruang bakar, dapat ditabelkan seperti dibawah ini:

Tabel 6 massa jelaga/karbon dan kotoran lain yang ditemukan pada komponen

No	Komponen	Berat (gram)		
		B20	B20A	B20B
1	Injektor	0.20	0.40	0.30
2	Cylinder head (In dan Out)	0.45	1.20	0.75
3	Cylinder liner	0.25	0.60	0.30
4	Piston	0.60	1.60	0.75
5	Ring piston dan Ring Olie	0.10	0.60	0.20
6	Valve	0.30	1.20	0.50
7	Bantalan	0.10	0.40	0.20
Total		2	6	3

Pada ketujuh komponen tersebut diatas, dilakukan analisis massa karbon atau kotoran lain yang ikut masuk kedalam ruang pembakaran. Secara lengkap Tabel 6 diatas, menjelaskan jumlah massa karbon dan kotoran lain pada ketujuh komponen tersebut.

Dari data diatas didapatkan berat total jelaga dan kotoran lain yang diperoleh adalah sebesar 2 g pada pemakaian bahan bakar B20, 6 g pada bahan bakar B20A, 3 g pada bahan bakar B20B. Nilai ini sangatlah besar mengingat bahan bakar JME yang berupa methyl ester banyak mengandung komposisi asam lemak yang dominan seperti pada tabel 7. dibawah ini.

Tabel 7 Rumusan Kimia Asam Lemak Dominan Dari Biodiesel Methyl Ester.

Asam Lemak	Rumus
Laurat	$\text{CH}_3[\text{CH}_2]_{10}\text{COOCH}_3$
Palmitat	$\text{CH}_3[\text{CH}_2]_{14}\text{COOCH}_3$
Stearat	$\text{CH}_3[\text{CH}_2]_{16}\text{COOCH}_3$
Oleat	$\text{CH}_3[\text{CH}_2]_7\text{CH}=\text{CH}[\text{CH}_2]_7\text{COOCH}_3$
Linoleat	$\text{CH}_3[\text{CH}_2]_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}[\text{CH}_2]_7\text{COOCH}_3$

Komposisi dari methyl ester mempengaruhi sifat fisik dan kimia dari biodiesel. Untuk biodiesel-CPO asam lemak yang dominan adalah oleat dan palmitat, sedangkan biodiesel-RBDPO (Refined Bleached And Deodorized Palm Oil) asam lemak yang dominan adalah linoleat dan oleat. Sifat sifat fisik dari biodiesel methyl ester (tabel 8).

Asam lemak laurat, palmitat dan stearat bersifat lemak pada kondisi kamar, sedangkan oleat dan linoleat bersifat sebagai minyak. Perbedaan asam lemak yang bersifat lemak dan minyak dari biodiesel akan mempengaruhi besarnya viskositasnya. Semakin banyak “kandungan asam lemak yang bersifat sebagai lemak pada biodiesel maka semakin besar harga viskositasnya dan sebaliknya semakin banyak kandungan asam lemak yang bersifat sebagai minyak pada biodiesel semakin kecil harga viskositasnya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya banyak kumpulan jelaga pada komponen – komponen dalam ruang bakar seperti yang sudah di jelaskan sebelumnya.

Tabel 8 Sifat Sifat Fisik Biodiesel Methyl Ester Dan Solar.

Sifat - Sifat	Bio – RBDPO	Bio CPO	Solar
Nilai kalor LHV (kj/kg)	367.764,83	37.114,13	40.297,32
Spesifik Gravity (gr/cm3)	0,869	0,870	0,857
Viskositas Kinematik (cst)	6,04	6,72	5,16
Bilangan Setan	55	60	45

Banyaknya ikatan ganda karbon ($C=C$) dan ikatan $C-H$ dalam asam lemak akan mempengaruhi nilai kalor dan bilangan cetana dari biodiesel. Energi ikatan disosiasi $C=C$ adalah 157 kkal/mol dan $C-H$ adalah sebesar 94 kkal/mol, satu ikatan disosiasi dua ikatan $C-H$, sehingga energi ikatan disosiasi satu ikatan $C=C$ lebih kecil dari energi ikatan disosiasi dua ikatan $C-H$. Semakin banyak kandungan asam lemak yang mempunyai ikatan $C=C$ pada biodiesel akan mengurangi nilai kalor dari biodiesel tersebut. Hal ini juga sebagai salah satu penyebab terjadinya pembakaran yang tidak sempurna dan sebagai salah satu penyebab timbulnya jelaga/soot. Dari beberapa keterangan diatas maka jelaga/soot dapat dikumpulkan sesuai dengan bahan bakar yang di pakai seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 11 Jumlah Jelaga

4.3 Analisa Kandungan Logam Dalam Pelumas

Pelumas motor diesel akan mengalami perubahan sifat fisika dan kimia selama motor diesel beroperasi, perubahan ini terjadi bergantung pada kondisi operasi, jenis bahan bakar, pelumas yang digunakan, dan lama pengoperasiannya. Kerusakan motor diesel juga dapat dilihat dari unsur-unsur dari logam yang aus pada komponen yang dikenainya. Keausan ini bisa disebabkan karena keausan adhesive, keausan karena korosif dan keausan karena debu (keausan gesekan).

Keausan adhesive disebabkan oleh lapisan minyak pelumas, keausan korosif disebabkan oleh deposit karbon, uap air dan asam, sedangkan partikel debu menyebabkan keausan gesekan.

Dalam pengujian ini kerusakan logam akibat lapisan minyak pelumas, sekalipun ada tetapi tidak perlu dibandingkan karena dalam penelitian ini menggunakan jenis pelumasan yang sama.

Penurunan kualitas komponen utama motor diesel (terutama pada ruang bakar yaitu selinder liner, piston, ring piston, silinder head, valve, injector, dll) yang bisa membedakan adalah akibat korosif dan gesekan. Kedua jenis kerusakan ini bisa diakibatkan oleh karakteristik bahan bakar dan proses pembakarannya. Tabel 9 menjelaskan mengenai unsur-unsur logam dalam minyak pelumas bekas motor diesel menurut sumber asalnya dan tabel 9 menjelaskan mengenai parameter properties minyak pelumas.

Tabel 9 Kadar logam dalam minyak pelumas menurut sumber asalnya

No	Sumber asalnya	Unsur logam	Symbol
1	Piston	Aluminium, copper dan iron	Al, Cu dan Fe

2	Ring piston dan Ring Olie	Chromium, nikel dan molybdenum	Cr, Ni dan Mb
3	Injektor		
4	Silinder liner	Chromium, silicon, carbon, mangan dan iron	Cr, Si, C, Mn dan Fe
5	Silinder head	Iron, silicon, carbon, aluminium dan copper	Fe, Si, C, Al dan Cu
6	Valve	Nikel, chrom, silicon dan wellfram	Ni, Cr, Si dan W
7	Bantalan	Aluminium, antimum, cadmium, cobal, copper, lead, magnesium, silver, tin dan zinc	Al, Sb, Cd, Co, Cu, Pb, Mg, Ag, Sn dan Zn

Sumber : Handbook Diesel Engine. Helmut Tschoke, 2009.

4.4 Analisa Hasil Pengujian Properties Minyak Pelumas.

4.4.1 Hasil Pengujian Properties Minyak Pelumas dengan Bahan Bakar JME dengan Variasi Iodin

Tabel 10 Parameter Properties Minyak Pelumas

No	Parameter	B20	B20A	B20B	Metode
1	Viskositas 40°C (cSt)	43,24	44,88	26,96	Kohler
2	Viskositas 100°C (cSt)	17,89	17,22	11,44	Kohler
3	TBN (mgr KOH/gr sampel)	11,27	8,39	6,61	Titration
4	Flash point (°C)	240	240	250	Gravimetri
5	Pour point (°C)	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi	Gravimetri
6	Ash content (%)	1,21	1,12	1,05	Gravimetri
7	Sulfur (%)	0,028	0,026	0,036	Gravimetri
8	Fe (%)	0,01	0,83	1,06	AAS
9	Cu (ppm)	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi	AAS
10	Pb (ppm)	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi	AAS
11	Cr (ppm)	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi	Tak terdeteksi	AAS

12	Al (%)	23,69	27,63	30,65	Gravimetri
13	Si (%)	0,26	0,16	0,13	Gravimetri

NB: Laboratorium Kimia FMIPA ITS, 21 Juni 2017

Unsur-unsur yang terkandung dalam minyak pelumas dapat dilihat pada tabel 10 di atas, secara umum logam yang terkandung dalam pelumasan seperti sulfur, Si, Pb, Cr dan Cu pada bahan bakar biodiesel tanpa varian iodin dengan bahan bakar biodiesel yang menggunakan varian iodin menunjukkan tidak adanya perbedaan yang sangat mencolok, mengingat selisih dan atau perbedaan kandungan logam pada pelumas disaat penggunaan masing-masing bahan bakar tersebut sangat kecil, kandungan Fe agak menonjol bahkan pada Al menunjukkan nilai yang sangat besar, namun disisi lain kandungan Cu, Pb dan Cr dengan metode AAS menunjukkan tidak terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa komponen-komponen motor diesel yang terdapat kandungan unsur-unsur di atas tidak menunjukkan/mengalami keausan, selama kurun waktu pengujian (kurang lebih 600 jam pemakaian).

Unsur Si pada pelumas saat pemakaian bahan bakar B20=0,26%, B20A=0,16% dan B20B=0,13%, hal ini mengindikasikan bahwa kotoran/jelaga/dirt yang terkandung dalam minyak pelumas yang bersumber dari udara yang masuk ke dalam ruang bakar pada motor diesel tidak tersaring secara sempurna, hal ini juga bisa diindikasikan bahwa kondisi filter udaranya kurang sempurna (terjadi kerusakan). Salah satu kadar logam yang tergolongs besar adalah Fe pada pemakaian bahan bakar B20B yaitu sebesar 1,06% hal ini sebagai akibat dari faktor aus yang diakibatkan oleh korosif, sebagai akibat dari reaksi kimia bahan bakar dan proses mekanis gesekan antar komponen, begitu pula yang terjadi pada kandungan Al..

Selain itu juga kadar abu yang sangat tinggi pada pemakaian bahan bakar B20=1,21%, B20A=1,12% dan B20B=1.05%, nilai-nilai tersebut adalah nilai yang berada diatas batas maksimum yang diizinkan oleh SAE yaitu nilai 1 (satu). Kandungan abu ini merupakan kontamina yang larut dalam minyak pelumas sehingga pada pengujian laboratorium (metode Gravimetri) proses pemisahannya dengan jalan dibakar sampai menjadi abu, abu tersebut kemudian dihitung prosentasinya dari sampel yang diambil. Perlu diketahui bahwa beberapa kontaminan yang larut dalam minyak pelumas dapat meningkatkan viskositas minyak pelumas dan dapat membentuk deposit atau kotoran pada komponen. Deposit itulah yang mengeras dan menjadi abu sebagai akibat adanya temperatur yang tinggi saat terjadi proses pembakaran. Secara detail dapat diuraikan menurut masing-masing parameter seperti dibawah ini:

1. Viskositas

Viskositas pelumas dapat diartikan sebagai tahanan pelumas untuk mengalir, yang pada prakteknya pelumas digunakan untuk melindungi permukaan komponen saat terjadi kontak. Untuk viskositas pelumas pada 40°C dengan menggunakan bahan bakar B20 = 43,24 cSt, B20A = 44,88 cSt dan pada bahan bakar B20B = 26,90 cSt (Metode Kohler). Perubahan nilai viskositas pelumas pada suhu 100°C. Dari ketiga pemakaian minyak pelumas pada ketiga varian bahan bakar tersebut, mulai dari B20 viskositasnya = 17,89 cSt, B20A = 17,22 cSt dan B20B = 11,44 cSt (metode Kohler). Kenaikan nilai viskositas ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, penyebab utamanya adalah karena terkontaminasi dengan sisa hasil pembakaran serta penurunan fungsi zat aditif pada pelumas itu sendiri. Pada proses pembakaran di ruang bakar pasti terdapat jelaga yang menempel pada sisi dinding silinder dan piston akibat pembakaran yang tidak sempurna, dan penguapan pelumas yang berlebihan. Jelaga itulah yang kemudian diikat oleh pelumas yang melapisi permukaan komponen tersebut dan akhirnya meningkatkan kekentalan dari pelumas.

Viskositas minyak pelumas baru pada 40°C untuk SAE.B.40 sebesar 140 cSt. Dalam praktek pengujian ketahanan ini dengan bahan bakar B20, B20A, B20B, jauh dibawah standart yang ditetapkan oleh SAE.B.40. hal ini memberi isyarat bahwa biodiesel dengan kandungan iodine sangat berpengaruh terhadap properties pelumas. Hal ini sebagai akibat dampak dari perlakuan terhadap kualitas biodiesel JME yang sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran. Secara singkat bisa diurai bahwa pelumas saat pemakaian bahan bakar B20 ada penurunan properties 96,76, saat pemakaian B20A ada penurunan 95,12, dan saat pemakaian B20B ada penurunan 113,1 cSt, rata-rata ada penurunan sekitar 100% dari kondisi yang diijinkan.

Viskositas pada suhu 100°C pada pemakaian bahan bakar B20 sebesar 17,89 cSt, pada pemakaian bahan bakar B20A sebesar 17,22 cSt dan pada pemakaian bahan bakar B20B sebesar 11,44 cSt. Sedangkan viskositas pelumas pada suhu 100°C untuk SAE.B.40 yang diijinkan sebesar 16,3 cSt, sehingga untuk B20 ada kenaikan 1,59, pada B20A ada kenaikan 0,92, dan pada B20B ada penurunan sekitar 4,86 cSt.

Kenaikan dan penurunan nilai viskositas ini sebagai dampak banyaknya penguapan minyak pelumas pada masing-masing bahan bakar disaat terjadi proses pembakaran pada ruang bakar, dan masih dalam nilai yang diijinkan.

2. Kandungan Logam (Fe dan Al)

Besi (Fe) merupakan salah satu material utama yang digunakan untuk membuat komponen-komponen motor diesel. Kandungan Fe mengalami fluktuasi besaran nilai dari kondisi awal pada pemakaian bahan bakar B20=1,01%, B20A=0,83% dan B20B=1,06%. Hal ini dikarenakan oleh biodiesel (JME) yang mengandung uap air serta hydrogen sulfide (H_2S) yang dapat mengakibatkan korosi pada permukaan komponen yang terbuat dari logam. Sehingga selain logam kasar yang terkikis, maka karat juga terkikis karena gesekan yang kemudian diikat oleh pelumas, sedangkan kandungan logam Cu, Pb dan Cr tidak terdeteksi (metode AAS).

Kandungan logam aluminium (Al) juga merupakan salah satu material utama yang digunakan untuk membuat komponen-komponen motor diesel, bahkan saat ini merupakan material yang dijadikan bahan kajian mengingat sifatnya yang ringan dan mempunyai keuletan yang tinggi dan ini akan menjadi primadona komponen motor diesel di masa mendatang. Selama pengujian ketahanan 200 jam logam Al mengalami perubahan dari pemakaian bahan bakar B20 sebesar 23,69%, pemakaian bahan bakar B20A sebesar 27,63%, dan pada pemakaian bahan bakar B20B sebesar 30,65% (metode Gravimetri). Kandungan Al ini merupakan kandungan logam dalam pelumas yang paling besar, hal ini menandakan bahwa komponen-komponen yang mempunyai kandungan Al ini, yang sangat besar mengalami keausan, terutama pada saat pemakaian bahan bakar JME yang mempunyai kadar iodine yang besar. Besar kandungan unsur Al ini, sudah berada diatas ambang batas yang diijinkan, mengingat ambang batas maksimum yang diijinkan yaitu 20 ppm. (Lab. Kimia MIPA ITS 2017)

Keberadaan kandungan logam yang terjadi pada pelumas baik besi(Fe), aluminium(Al), ini terjadi karena pengikisan permukaan-permukaan komponen yang masih kasar / tidak rata akibat kontak atau gesekan pada saat motor diesel beroperasi. Kekasaran / ketidak rataan dari komponen-komponen tersebut timbul karena kondisi motor diesel uji bukan motor diesel baru (sudah lama di pakai) sehingga banyak komponen-komponen yang dalam bekerjanya sudah tidak optimal lagi. Komponen-komponen utama motor diesel ditunjukkan pada tabel dibawah.

Tabel 11 Indikator Keausan Komponen – Komponen Motor Diesel.

Logam	Indikasi Keausan Komponen
Besi (Fe)	Cam shaft, crank shaft, cylinder wall, exhaust valve, intake valve, piston.
Aluminium (Al)	Cylinder wall, piston, cylinder head

3.Kandungan Cu, Pb, Dan Cr.

Hasil analisa yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa kandungan Cu, Pb, dan Cr tidak terdeteksi adanya. Hal ini memberi informasi kepada kita bahwa komponen komponen yang mengandung unsur unsur tersebut di atas tidak mengalami pengikisan / aus selama proses pengujian 600 jam, dan layak dipakai kembali karena masih dibawah batas maksimum yang diijinkan yaitu 30 ppm untuk Cu, 15 ppm untuk Cr, dan ppm untuk Pb.

4.Ash Content/Jelaga (Soot)

Ash content/jelaga (soot) merupakan residu hasil proses pembakaran yang tidak sempurna pada tabel 4.4 terlihat nilai-nilai pada pemakaian bahan bakar B20=1.21%, B20A=1,12% dan B20B=1.05% (metode gravimetri) hal ini menunjukkan trend yang menurun terhadap besaran nilai kandungan jelaga setelah masing-masing dipakai pengujian 200 jam. Namun demikian meskipun terjadi trend penurunan namun hal ini masih memberi isyarat yang kurang baik, mengingat masih berada diatas ambang batas maksimum yang diizinkan yaitu 1, untuk SAE.B.40. (Gravimetri Kimia MIPA ITS). Oksidasi dapat terjadi saat molekul oksigen secara kimiawi bersatu dengan molekul-molekul pelumas dan reaksi ini berjalan lebih cepat karena dipengaruhi oleh suhu yang sangat tinggi di dalam blok silinder. Kandungan abu dengan besaran seperti tersebut diatas adalah nilai yang sangat besar. Hal ini sebagai akibat dari adanya kontaminan – kontaminan yang terbawa dalam pelumas dan bereaksi meningkatkan viskositas minyak pelumas dan membentuk deposit/kotoran pada piston, injector, dan sekitar cylinder head yang selanjutnya membentuk kerak sebagai akibat dari temperature yang tinggi di ruang bakar

5.Flash Point (Titik Nyala)

Flash point (titik nyala) pelumas SAE B40 adalah 244°C, namun setelah pengujian ketahanan dengan pemakaian bahan bakar B20=240°C, B20A=240°C dan B20B=250°C (metode

gravimetri). Kondisi ini memberi informasi kepada kita bahwa pelumas ini masih bisa dipakai untuk jangka waktu yang lebih panjang mengingat selisih nilai titik nyala yang berada dibawah titik nyala pelumas SAE B40 (titik nyala B20 dan B20A) yaitu 4°C dan kenaikan titik nyala pada B20B yang berada diatas SAE B40 sebesar 6°C, kondisi di bawah dan di atas titik nyala SAE B40 ini adalah masih pada batas-batas yang diizinkan dan ini menandakan bahwa pelumas tersebut masih layak untuk dipakai lebih lama. Batasan pemakaian akan diuraikan tersendiri pada sub bab prediksi umur pelumas.. Hal ini sebagai akibat dari adanya pengembunan minyak pelumas selama sebelum dan sesudah dipakai namun tidak langsung diujikan. Juga kemungkinan adanya kebocoran air pendingin. Lama pengendapan sebelum minyak pelumas ini diujikan juga sangat berpengaruh adanya kandungan kadar air, mengingat sewaktu mengujikan minyak pelumas ini bersamaan, hal ini berarti juga minyak pelumas yang sudah dipakai pengujian terlebih dahulu, B20, B20A menunggu sampai pengujian B20B selesai, rentang waktu inilah yang kemungkinan besar sebagai akibat adanya kandungan air yang besar pada minyak pelumas uji, padahal waktu yang diijinkan untuk pengambilan sample adalah maksimal 6 jam setelah motor uji dioperasikan. (Garnida, www.plnkc.or.id)

6. Total Base Number (TBN)

Total base number adalah suatu karakteristik kimia yang menunjukkan alkalinitas pelumas untuk menetralkan asam, baik asam hasil oksidasi pelumas, maupun asam yang terbentuk selama proses pembakaran dan mengkontaminasi pelumas. Semakin besar nilai TBN maka semakin besar kemampuan deterjensi, dispersi, dan netralisasi asam hasil oksidasi yang dapat mengakibatkan korosi. Perubahan nilai TBN selama 200 jam motor diesel beroperasi. Perubahan nilai TBN tidak boleh kurang dari setengah jumlah nilai awal. Jumlah TBN yang tinggi pada proses treatment akan menimbulkan adanya kerak hitam, terutama pada dinding sebelah dalam frame/crank case, karena senyawa calcium/barium/magnesium akan menempel pada dinding tersebut.

Perubahan TBN cenderung fluktuatif, namun pada sampel pelumas saat pemakaian bahan bakar B20=11,27 mgKOH/gr, bahan bakar B20A=8,39mgKOH/gr, dan B20B=6,61mgKOH/gr (metode titrasi), sedangkan nilai TBN SAE B 40 adalah sebesar 10,26mg.KOH/gr pada kondisi baru. Hal ini berarti B20 mengalami kenaikan sebesar 1,01 mg KOH/g atau B20A mengalami penurunan nilai TBN sebesar 1,87 mgKOH/gr dari kondisi awalnya, sedangkan B20B juga mengalami penurunan sebesar 3,65mgKOH/gr. Berdasarkan

SAE.B.40 adalah sebesar 10,26 mg KOH/gr, nilai TBN pelumas saat pemakaian B20B yang tidak memenuhi persyaratan yang diizinkan yaitu minimal 2,6 mg KOH/gr.

7. Kontaminan Si

Kandungan Silikon (Si) pada pelumas saat pemakaian bahan bakar B20=0,26%, saat bahan bakar B20A=0,16% dan saat pemakaian bahan bakar B20B=0,13% . Setelah beroperasi selama 200 jam menggunakan bahan bakar biodiesel, kandungan Si mengalami trend menurun. Angka tersebut masih berada dibawah ambang batas yang diizinkan,yaitu sebesar 45 ppm untuk Si (Methode Gravimetri Lab.Kimia MIPA ITS 2017).

Kandungan Si berhubungan dengan kontaminasi yang berasal dari partikel debu atau kotoran yang masuk kedalam ruang pembakaran, kemudian terbawa ke penampung pelumas dan mengkontaminasi pelumas.Partikel Si juga bisa berasal dari komponen motor bakar yang materialnya mengandung Si. Selain itu Si juga bisa mengontaminasi pelumas lewat botol sampel yang digunakan sebagai wadah sampel.

8.Pour Point (Titik Tuang)

Pour point (Titik Tuang) adalah suhu terendah ,dimana pelumas masih dapat mengalir dengan sendirinya pada kondisi pengujian.Kemudahan mengalir ini dipengaruhi oleh komposisi hidro karbon minyak pelumas itu sendiri.Kegagalan untuk mengalir pada titik tuang umumnya berhubungan dengan kandungan lilin dari pelumas,tetapi dapat juga karena pengaruh viskositas yang sangat kental.Pelumas yang banyak mengandung paraffin (lilin) akan lebih mudah membeku dibanding dengan yang kandungan parafinnya rendah.Struktur lilin yang berhubungan dengan pendinginan,dapat diatasi dengan cara diberi tekanan yang relative kecil. Sifat ini juga memberi indikasi tentang sifat pemompaan pada suhu rendah.Nilai pour point pada pengujian ini adalah tidak terdeteksi (Methode Gravimetri Lab Kimia MIPA ITS),hal ini mengindikasikan bahwa pelumas tersebut masih layak dipakai .

9.Kandungan Sulfur

Senyawaan sulfur banyak sekali jenisnya antara lain hydrogen sulfide (H_2S) , merkaptan (RSH), sulfide (RSR), disulfide ($RSSR$), siklo sulfida ($(CH_2)_5S$), alkit sulfat (R_2SO_4), asam sulfonat (RSO_2OH), sulfoksida ($RSOR$), sulfona (RSO_2R), tiofena (C_4H_4S), dan benzotiofena (C_8H_6S). Oleh sebab itu dalam pengujiannya dikatakan sebagai sulfur jumlah.

Sulfur ini penyebab bau tak sedap, pembentuk gum dan sludge yang dalam proses pembakaran akan menimbulkan asap dan menyebabkan korosi. Tidak semua sulfur merugikan. Sulfur yang ada dalam aditif bersifat sebagai penghambat oksidasi (oxidation inhibitor) dalam minyak lumas, sementara ada senyawa sulfur yang bertindak penghambat korosi dalam lumas gear atau sebagai extreme pressure properties untuk cutting oil. Dalam penelitian ini hasil analisa kandungan sulfur pada pelumas saat pemakaian bahan bakar B20 = 0,028% , saat pemakaian bahan bakar B20A = 0,026% dan saat pemakaian bahan bakar B20B = 0,36% (Metode Gravimetri Lab.Kimia MIPA ITS 2017) kandungan sulfur tersebut diatas masih dalam batas yang diijinkan mengingat batas maksimum 0,5% massa. Kandungan sulfur yang lebih besar dari 0,5% massa akan menyebabkan penurunan nilai kalor, pencemaran udara, dan meningkatkan sifat korosifitas pada gas buang. Hal ini sebagai akibat dari kandungan sulfur yang ada di bahan bakar yang masuk kedalam pelumas saat terjadi proses pembakaran di ruang bakar.

Hal-hal tersebut diatas baik Sulfur, Si, Fe dan Al yang nilainya cukup tinggi, ini menandakan bahwa reaksi pembakaran dengan bahan bakar biodiesel JME yang nilai angka iodinnya bervariasi dan cukup besar membawa akibat yang kurang baik terhadap komponen-komponen utama motor diesel, terutama pada proses pembakaran saat komponen itu dioperasikan.

Setelah minyak pelumas dipakai pengujian selama masing-masing 200 jam maka didapat hasil uji / parameter uji sebagai berikut: Pour Point, Cu, Pb, dan Cr dalam pengujian ini memang tidak terdeteksi namun bukan berarti ini menjadi sinyal positif yang membawa dampak baik terhadap komponen motor diesel, mengingat pengujian ini kurun waktu 200 jam, oleh karenanya untuk mengetahui durability dan reability, dalam hal ini perlu masa uji lebih panjang lagi.

\4.4.2 Perbandingan Tingkat Kerusakan Komponen dan Propertis Minyak Pelumas Selama Uji Ketahanan .

Dalam menilai durability dari komponen engine, salah satu parameter yang harus diketahui adalah kandungan/unsure material yang membentuk dari komponen-komponen engine tersebut dan diselaraskan dengan fungsinya untuk apa komponen itu dibuat. Pada saat komponen tersebut bekerja dan dengan kurun waktu yang ditentukan , maka indicator keausan, factor lelah(faillur fatic), performance, dan indikasi-indikasi lain dari komponen

tersebut bisa diketahui. Akibat-akibat lain dari bekerjanya komponen tersebut juga bisa terbaca, semisal ditemukannya jelaga/deposit pada komponen tersebut saat komponen bekerja, atau membuat akibat lain dimana komponen lain terganggu tidak sebagaimana mestinya. Dari penelitian yang telah dilaksanakan didapat kesimpulan bahwa hal-hal tersebut diatas bisa dipengaruhi oleh factor mekanis dan factor kimiawi yang terkandung pada komponen tersebut. Faktor mekanis, hal ini bisa diketahui setelah kita melakukan engine check up baik pada waktu komponen itu sebelum dan sesudah dipakai, pemeriksaan dan pengukuran kita lakukan pada komponen tersebut untuk mengetahui tingkat durabilitynya. Disamping itu juga dilakukan pengamatan visual sebelum dan sesudah dipakai. Faktor kimiawi, hal ini juga sangat penting untuk diketahui. Komponen itu secara struktur material ada yang membentuk unsure-unsur kimia yang membentuk sebagai paduan, kelebihan dan kekurangan akan menentukan fungsi dari komponen tersebut, juga pengaruh proses pembakaran di ruang bakar terhadap komponen tersebut. Hal ini juga bisa diuraikan seperti penjabaran dibawah ini :

- Cylinder Head: Mengalami keausan dan lubang bahan bakar tertutup kerak, katub isap dan katub buang juga berkerak yang mengakibatkan kompresi hilang.

Kepala silinder dipasang pada permukaan blok silinder dan membentuk sebagian ruang bakar utama. Pada kepala silinder dipasang nozzle untuk menginjeksi bahan bakar, manifold masuk untuk memasukkan udara yang diperlukan dalam pembakaran, manifold keluar untuk membuang gas pembakaran ke udara luar, system klep untuk mengatur penghisapan pembuangan, system pemanas untuk memanasi udara. Dalam ruang bakar pada waktu motor masih dingin untuk memudahkan menghidupkan motor. Kepala silinder umumnya dibuat dari besi tuang. Tipe ini adalah ruang tunggal, bahan bakar di injeksi langsung kedalam ruang bakar yang dibuat berbentuk cekung pada bagian kepala torak. Bahan bakar ini terbakar dengan sendirinya oleh panas yang tinggi pada saat kompresi. Keistimewaan tipe ini adalah konstruksinya sederhana, tenaga motor besar, serta efisiensi panas yang tinggi, kerugian pendinginan rendah yang berarti konsumsi bahan bakar rendah serta mudah menghidupkan motor tanpa pemanasan pendahuluan pada temperature biasa. Pada gambar terlihat sangat jelas abu dan kerak yang terbentuk setelah pembakaran (B20A dan B20), sedangkan B20B abu tidak begitu banyak, namun kerak terlihat sangat jelas dan kondisi permukaan silinder basah. Hal ini sebagai akibat dari pembakaran yang cepat dan suhu kompresi dan suhu di ruang bakar terjadi kenaikan yang tiba-tiba, akibat dari

tersumbatnya lubang nozzle oleh kerak di cylinder head dan dibarengi oleh kondisi katub isap dan katub buang yang juga berkerak.

Pada bagian cylinder head terjadi beberapa pengerasan akibat pembakaran yang tidak sempurna dan juga karat, terlihat pada Gambar..... yang membandingkan antara kondisi sebelum dan sesudah pengujian. Hal ini disebabkan karena bahan bakar biodiesel yang digunakan pada saat pengujian ketahanan selama 200 jam memiliki kandungan air yang cukup tinggi dan juga mengandung hidrogen sulfida (H_2S), dan kandungan iodin yang bersifat asam dan korosif.

- Cylinder Liner: Sedikit mengalami keausan.

Cylinder liner ini erat hubungannya dengan silinder blok. Diameter keliling harus diukur pada titik dekat puncak dimana ring piston bergerak, bagian tengah dan bagian bawah dari sisi kerja piston. Bila hasil pengukuran pada lubang silinder terdapat melebihi limit keausan yang ditentukan 0,15 mm (0,0059 inch), piston dan silinder liner harus diganti. Silinder liner dapat dilepas dengan menggunakan silinder liner remover (special tool no. 09218-87301) dengan menggunakan palu. Mengukur celah piston dengan lubang liner. Celah spesifikasi 0,10-0,13 mm (0,0039-0,0051 inch). Pada gambar (B20, B20A dan B20B) tampak ada beberapa kerak/jelaga di beberapa tempat, namun selama pengujian tidak begitu besar pengaruhnya dan masih pada batas yang diijinkan setelah diadakan pengukuran selama pengujian 3 X 200 jam dengan bahan bakar yang berbeda (lihat tabel). Namun kondisi ini perlu diteliti lebih lanjut untuk keperluan penggunaan yang mempunyai life time lebih panjang.

- Injector : Fisik tetap/ukuran tidak mengalami perubahan tetapi menghasilkan proses pembakaran yang tidak sempurna, hal ini akibat dari mutu bahan bakar yang kurang baik.

Tampak perbedaan sebelum dan sesudah pengujian, tampak bersih (gambar sebelum run) dan kotor sampai kehitaman, cenderung basah (gambar B20 dan B20B) sedangkan kondisi yang sangat parah terlihat pada injector saat pemakaian bahan bakar B20A. Disamping hampir seluruh permukaan kehitaman, penuh dengan abu/jelaga, hal inilah yang mengakibatkan motor pada waktu running dengan penggunaan bahan bakar B20A sempat terjadi “Black Out”/mati tiba-tiba saat jam ke 178, dari waktu running 200 jam yang direncanakan. Hal ini menandakan bila di daerah sekitar injector terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Salah satu unsur senyawa yang tidak mendukung pembakaran sempurna adalah adanya unsur sulfur (Pada Bahan Uji, sulfur = 0,26%) yang bersifat korosif, (Pada Bahan Uji ash content

= 0,012%) yang menandakan kualitas kebersihan dari bahan bakar, (Pada Bahan Uji cetane index = 46,22) yang sangat berpengaruh terhadap ignition quality/delay periode, (Pada Bahan Uji flash point = 188oC) factor keselamatan dalam hal distribusi dan fungsinya sebagai bahan bakar, (viscosity kinematic=17,6 cSt) hal ini menunjukkan sulit dan mudahnya bahan bakar untuk mengalir.

Hal inilah factor-factor penyebab dari tampilan injector sehingga terlihat berbeda seperti terlihat pada gambar. Khusus pada saat penggunaan bahan bakar B20A dengan tampilan injector seperti diatas tersebut, motor menjadi mati tiba-tiba, Karena kompresinya hilang (loss) , nozzle tertutup kerak di cylinder headnya dan katub isap maupun katub buang juga berkerak.

- Piston: Diameter piston tidak berubah namun permukaan piston mengalami keausan yang pesat akibat proses pembakaran yang tidak sempurna.

Piston/Torak selalu bergerak bolak balik di dalam silinder dan dihubungkan dengan batang torak dengan pena torak. Torak memutar poros engkol melalui batang torak dan selalu bersinggungan dengan tekanan dan temperature tinggi. Oleh sebab itu torak harus dibuat oleh bahan yang ringan, kuat, tahan panas dan tahan aus. Bahan torak umumnya terbuat dari campuran aluminium. Tipe lainnya torak yang keliling luar dilapisi timah agar tahan singgungan dengan dinding silinder. Permukaan torak terbentuk atas bermacam-macam tipe. Tujuannya untuk membentuk ruang bakar dan menimbulkan pusaran bahan bakar pada saat penyemprotan. Tipe cekungan yang paling dalam dan tipe toroidal swirl kebanyakan digunakan untuk ruang bakar langsung (motor uji).

Pada gambar diatas terlihat bahwa saat penggunaan bahan bakar B20 sangat terlihat kehitaman bekas kena bakaran/api, juga banyak abu/jelaga. Hal ini sebagai akibat fungsinya untuk membentuk ruang bakar dan menimbulkan pusaran bahan bakar pada saat penyemprotan/injeksi. Juga akibat dari pemakaian bahan bakar biodiesel yang mempunyai karakteristik berbeda dengan bahan bakar solar pada umumnya.

Pada bagian piston terdapat beberapa pengerakkan yang terjadi dan juga terdapat karat yang terbentuk di bagian atas piston. Penyebabnya bisa disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna, karena jumlah campuran bahan bakar biodiesel dan udara yang kurang optimal/komposisi tidak standart.

- Ring Piston: Ring kompresi no.1 mengalami keausan sewaktu memakai bahan bakar B20 begitu pula Ring Oli no.4 juga mengalami keausan. Keausan ini bukan karena bahan bakar tetapi karena teknis mengingat posisi ring no.1 berada pada posisi paling atas dan ring no.4 berada pada posisi paling bawah, hal ini menandakan bahwa ada gerakan zigzag dari piston ketika bergerak naik turun, hal ini bisa di karenakan pena torak atau connecting rod yang goyah.

Ring piston ada dua macam yaitu ring kompresi dan ring olie. Ring kompresi terdiri dari 3 buah ring dan 1 ring olie. Ring kompresi berfungsi untuk mencegah kebocoran kompresi dan gas pembakaran serta menyalurkan sebagian panas dari torak ke air pendingin melalui dinding silinder. Ring olie berfungsi untuk menyerut sisa olie yang telah melumasi pada dinding dalam silinder serta memberi olie pelumas pada bagian ujung kecil batang torak. Pada gambar tidak tampak perbedaan pada masing-masing penggunaan bahan bakar, mengingat umumnya ring piston ini terbuat dari besi tuang yang mempunyai sifat tahan panas, tahan aus, dan mempunyai gaya pegas dan juga permukaan yang dilapisi chrome agar lebih tahan terhadap aus serta untuk memperbaiki penyesuaian permukaan antara ring dengan dinding silinder.

- Bantalan: Tidak mengalami perubahan ukuran, namun secara visual terdapat goresan-goresan halus.

Bantalan umumnya tri metal yang terdiri bagian atas dengan bahan helmet metal dan bagian belakang dibuat dari bahan baja lunak. Pada bantalan ini ada lubang dan alur oli untuk saluran oli dari blok silinder. Pada gambar tidak ada perubahan berarti secara fisik, pengukuran sebelum dan sesudah pengujian juga tidak menunjukkan perubahan ukuran/tetap, hanya tampilan visual memperlihatkan adanya guratan-guratan halus akaibat terkikis. Hal ini akan kelihatan/terdeteksi bila dipakai alat yang mempunyai ketelitian tinggi, semisal x ray atau alat foto yang mempunyai daya pembesaran yang tinggi.

- Valve/Katup: Ukuran tidak ada perubahan hanya pada seluruh permukaan katup menghitam akibat terbakar terutama pada daerah eagle tampak hitam berkarat dan berkerak.

Valve/klep berfungsi untuk memasukkan udara dan membuang gas hasil pembakaran dengan cara membuka dan menutup klep pada saat yang tepat. System klep terdiri dari klep dan pegas untuk membuka dan menutup langsung ruang bakar, gigi timing untuk memindahkan putaran poros engkol ke poros nok, tappet (pengangkat klep) untuk membuka dan menutup klep oleh perputaran poros nok, batang pendorong

(push rod), lengan pengungkit (rocker arm). Pada motor 2 tak tidak ada klep hisap akan tetapi ada ruang bilas (scavenging port). Dibagian silinder untuk memasukkan udara. Pembukaan klep oleh poros nok yang diputar oleh poros engkol dengan kecepatan putaran setengah putaran poros engkol, pada batang klep dipasang pegas klep dan dudukan pegas. Pada gambar hampir semua klep terlihat menghitam bekas terbakar, dan pada penggunaan bahan bakar B20A sangat basah dibanding valve saat pemakaian bahan bakar B20 dan B20B. hal ini sebagai akibat dari terbakarnya saat proses pembakaran , namun tidak mengakibatkan adanya keausan yang tinggi dan masih dalam batas-batas yang diijinkan.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan uji ketahanan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Angka iodin mempengaruhi kerusakan komponen-komponen utama motor diesel, utamanya komponen-komponen yang mengandung unsur Fe dan Al.
2. Angka iodin mempengaruhi piston dan silinder linier. Kedua komponen tersebut mengandung unsur Fe dan Al, selain itu kedua komponen tersebut saling bersinggungan sehingga kerusakannya sangat signifikan.

5.2 Saran

Perlu adanya kajian ulang terkait dengan penggunaan biodiesel JME yang angka iodinnya bervariasi, utamanya pengujian properties dari biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahadiat, N .1994. **Pengaruh Kualitas Minyak Solar pada Proses Pembakaran**. Lembaga Publikasi Lemigas No.1. pp 69-73
- Adryan, F.T. 2002. **Unjuk Kerja Motor Diesel Dengan Bahan Bakar Jelatah Methyl Ester**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
- Anton W.L. 1985. **Teknologi Pelumas**. Lembaran Publikasi LEMIGAS No. 2, pp 3-52
- Anton W.L. 1985. **Fungsi Minyak Lumas Pada Mesin**. Lembaran Publikasi LEMIGAS No. 4, pp 73-81
- Arismunandar, W. dan Tsuda, K. 1997. **Motor Diesel Putaran Tinggi**. Cetakan Ke 8, Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Baranescu, R.A. dan Lusco, J.J. 1997. **Performance, Durability, And Low Temperature Evaluation Of Sun Flower Oil As Diesel Fuel Extender**. American Society of Agricultural Engineer Publication, pp.312-328.
- Engine Manufacturers Association. **Technical Statement On The Use Of Biodiesel Fuel In Compression Ignition Engines**. www.enginemanufacturers.org Dikunjungi Tahun 2003.
- Fort, E.F. dan Blumberg, P.M. 1997. **Performance And Durability Of A Turbocharged Diesel Fuelled With Cottonseed Oil Blend**. American Society of Agricultural Engineer Publication.
- Fahruri, S. 2003. **Studi Eksperimen Unjuk Kerja Motor Diesel Menggunakan Bahan Bakar Jelantah Ethyl Esther**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan ITS.
- Georing, C.E. and Fry, B. 1984. **Engine Durability Screening Test of a Diesel Oil/Soy Oil/Alcohol Microemulsion Fuel**. Journal of The American Oil Chemist's Society, 61 (10) pp 1627
- Hendra. 2013. **Bahan Bakar Nabati Energi Untuk Masa Depan Indonesia**. Artikel. www.teknologi.kompasiana.com
- Imaduddin, M. 2011. **Optimasi Sistem Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah dan Metanol dengan Katalisator Abu Tndan Kosong Sawit dan Uji Kerjanya pada Motor Diesel**. Tesis Master. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, UGM. Yogyakarta.

La Puppung, P.1986. **Penggunaan Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Motor Diesel.** Lembaga Publikasi Lemigas No. 1, pp 39-54

Panggabean, A.G. 2009. **Penentuan Bilangan Iodin Dalam Crude Palm Stearin dan Refined Bleached Deodorized Palm Stearing.** Kimia Analis. FMIPA-Universitas Sumatera Utara. Medan (Karya Ilmian Program Studi D-III)

Pradipta, Oksi Sigit. 2008. **Studi Komparasi Unjuk Kerja Mesin Diesel.** Tugas Akhir. Universitas Indonesia. Jakarta

Pramesti, Lely. 2013. **Analisa Pengaruh Angka Iodin Pada Biodiesel Dari Waste Cooking Oil Terhadap Laju Keausan Dan Terbentuknya Carbon Deposit Pada Komponen Small Marine Diesel Engine.** Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan. FTK-ITS. Surabaya (Tesis)

Subiyanto .1989. **Jenis-Jenis Logam Yang Terdapat Minysk Lumas Bekas dan Sumber Asalnya.** Lembaran Publikasi LEMIGAS No. 1, pp 32-37

Sudik. 2013. **Perbandingan Performa Dan Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel Satu Silinder Dengan Variasi Tekanan Injeksi Bahan Bakar Dan Variasi Campuran Bahan Bakar Solar, Minyak Kelapa Dan Minyak Kemiri.** Skripsi S-1. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Semarang

Trianto, N. 2004. **Studi Pengujian Secara Kimia Terhadap Minyak Jarak Dengan Penambahan Zat Aditif Polimer Sebagai Pelumas Pada Motor Diesel.** Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan ITS.

Zuhdi, A. Asianto. Tjoek, S. 1996. **Reduksi NO_x dengan metode Perlambalan penginjeksian pada motor diesel putaran tinggi.** Jurnal IPTEK ITS Vol. 7 No.2 November 1996 Hal.164 173

Zuhdi, A. 2002. **Aplikasi Penggunaan Waste Methyl Ester Pada High Speed Marine Diesel Engine.** Seminar Nasional Teori Aplikasi Teknologi Kelautan 2002 FTK ITS.

Zuhdi, A. 2003. **Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Pada Motor Diesel.** Laporan Riset. Riset Unggulan Terpadu VIII bidang teknologi Industri. Kementrian Riset dan Teknologi RI Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Zuhdi, A. 2004. **Uji Ketahanan Motor Diesel Dengan Bahan Bakar Komposisi Castor Methyl Esther, Palm Methyl Esther dan Minyak Solar.** Prosiding Seminar Nasional Pasca Sarjana IV, Program Pasca Sarjana ITS.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Tabel Data Pengujian Ketahanan dengan Bahan Bakar B20

Pengujian 1 (Solar + JME B20)

No	Beban	Putaran (rpm)		Generator		Temperatur		Waktu	Hari/Tanggal
		Engine	Generator	Tegangan	Arus	Air Pendingin	Gas Buang		
1	0	1000	693,0	-	-	69,4	76,4	30	Rabu 12 April jam 05.00-20.15 15 Jam
2	2000	1900	1196	173	7,6	93,3	76,7	30	
3	5000	2000	1253	180	21,1	83,6	205,6	60	
4	5000	2100	1325	198	21,4	92,6	300,3	60	
1	0	1000	671,9	-	-	90,0	76,4	30	
2	2000	1900	1206	174	7,6	93,6	142,6	30	
3	5000	2000	1264	179	21,1	88,5	199,8	60	
4	5000	2100	1326	196	21,2	98,7	289,2	60	
1	0	1000	681,5	-	-	80,5	90,6	30	
2	2000	1900	1198	173	7,6	82,4	99,7	30	
3	5000	2000	1265	180	21,1	90,1	200	60	
4	5000	2100	1325	197	21,3	99,8	300	60	
1	0	1000	681,8	-	-	79,4	81,2	30	
2	2000	1900	1199	173	7,6	81,7	99,8	30	
3	5000	2000	1266	181	21,1	89,8	201	60	
4	5000	2100	1326	197	21,2	99,8	302	60	
1	0	1000	670,7	-	-	78,8	80,2	30	
2	2000	1900	1198	174	7,6	81,2	99,7	30	
3	5000	2000	1267	180	21,1	89,7	200	60	
4	5000	2100	1327	196	21,2	99,8	301	60	
1	0	1000	663,9	-	-	48,0	66,8	30	Kamis 13 April 2017 Jam 04.30-15.30 11 Jam
2	2000	1900	1203	175	7,7	88,4	153,0	30	
3	5000	2000	1255	183	20,3	95,6	284,3	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	98,7	291,9	60	
1	0	1000	657,9	-	-	70,4	73,9	30	
2	2000	1900	1202	175	7,7	93,8	140,6	30	
3	5000	2000	1265	185	20,5	93,9	155,5	60	
4	5000	2100	1329	202	21,1	93,9	193,8	60	
1	0	1000	655,8	-	-	70,5	73,9	30	
2	2000	1900	1202	175	7,7	93,9	140,6	30	
3	5000	2000	1264	185	20,5	93,9	155,6	60	
4	5000	2100	1328	201	21,1	93,9	193,9	60	
1	0	1000	656,9	-	-	56,1	66,9	30	Senen 17 April 2017
2	2000	1900	1203	176	7,7	91,7	152,5	30	

3	5000	2000	1261	184	20,3	89,2	154,8	60	Jam 06.00- 21.00 15 Jam
4	5000	2100	1322	194	21,0	89,2	154,9	60	
1	0	1000	657,4	-	-	77,1	63,3	30	
2	2000	1900	1208	175	7,6	93,4	151,1	30	
3	5000	2000	1258	182	20,2	97,8	273,5	60	
4	5000	2100	1324	196	21,1	98,9	278,6	60	
1	0	1000	657,3	-	-	77,2	63,3	30	
2	2000	1900	1207	175	7,7	93,3	152,1	30	
3	5000	2000	1259	183	20,2	97,7	272,3	60	
4	5000	2100	1324	196	21,1	98,9	279,6	60	
1	0	1000	657,3	-	-	77,1	63,4	30	
2	2000	1900	1207	176	7,7	93,4	151,2	30	
3	5000	2000	1258	183	20,1	97,8	272,6	60	
4	5000	2100	1325	197	21,1	98,9	275,7	60	
									Selasa, 18 April 2017 Jam 05.30- 24.00 18 Jam
1	0	1000	647,8	-	-	55,1	56,1	30	
2	2000	1900	1206	176	7,7	87,8	11,1	30	
3	5000	2000	1257	183	20,1	88,9	152,8	60	
4	5000	2100	1326	196	21,1	99,5	196,5	60	
1	0	1000	647,5	-	-	75,8	59,5	30	
2	2000	1900	1205	176	7,7	89,3	132,7	30	
3	5000	2000	1260	182	20,1	93,5	234,9	60	
4	5000	2100	1325	193	21,0	96,8	271,9	60	
1	0	1000	647,1	-	-	75,7	58,6	30	
2	2000	1900	1205	176	7,7	89,2	133,2	30	
3	5000	2000	1260	182	20,1	93,6	233,8	60	
4	5000	2100	1325	193	21,0	96,9	270,9	60	
1	0	1000	647,2	-	-	75,8	58,8	30	
2	2000	1900	1206	176	7,7	89,1	132,9	30	
3	5000	2000	1260	182	20,1	93,7	233,9	60	
4	5000	2100	1326	193	21,1	96,8	271,8	60	
1	0	1000	647,2	-	-	75,8	58,9	30	
2	2000	1900	1206	176	7,7	89,2	132,9	30	
3	5000	2000	1261	182	20,1	93,7	233,9	60	
4	5000	2100	1327	193	21,1	96,8	271,8	60	
1	0	1000	647,2	-	-	75,8	58,9	30	
2	2000	1900	1206	176	7,7	89,2	132,9	30	

3	5000	2000	1261	182	20,1	93,7	233,9	60	
4	5000	2100	1327	193	21,1	96,8	271,8	60	
1	0	1000	646,8	-	-	54,7	58,8	30	Rabu, 19 April 2017 Jam 05.00- 24.00 19 Jam
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1259	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,5	258,6	60	
1	0	1000	646,8	-	-	54,6	58,8	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,1	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,5	60	
1	0	1000	646,8	-	-	54,7	58,8	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,5	60	
1	0	1000	646,7	-	-	54,7	58,8	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,5	60	
1	0	1000	646,7	-	-	54,7	58,8	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1329	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	646,7	-	-	54,7	58,8	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1329	192	20,9	94,5	258,6	60	
1	0	1000	646,5	-	-	54,7	58,8	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
									Kamis, 20 April 2017 05.00-24.00 19 Jam
1	0	1000	646,7	-	-	54,7	58,8	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1259	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,5	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,8	58,8	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,5	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,5	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,8	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,5	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,5	238,3	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	

1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,3	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,3	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,5	258,6	60	
1	0	1000	647,7	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,5	258,6	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,6	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,4	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,6	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,4	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,7	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,6	58,9	30	

Jumat, 21
April 2017

Jam 07.00-
16.00

9 jam

Selasa, 25
April 2017

Jam 09.00

24 jam

2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,4	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,8	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,6	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,4	60	
4	5000	2100	1331	192	20,9	94,8	258,8	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,6	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,4	238,4	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,9	258,8	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,6	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,4	238,4	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,9	258,8	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,6	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,4	238,4	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,9	258,8	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,6	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,4	238,4	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,9	258,8	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	

Rabu, 26
April 2017

Jam 09.00

24 Jam

2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,5	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,7	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	Kamis, 27 April 2017 Jam 09.00 24 Jam
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,5	-	-	54,7	58,9	30	

2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,6	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	Jumat, 28 April 2017
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	Jam 09.00
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	6 Jam
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	Selasa, 2 Mei 2017
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	Jam 06.00
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	18 Jam
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
1	0	1000	647,6	-	-	54,7	58,9	30	
2	2000	1900	1205	173	7,6	70,3	132,6	30	
3	5000	2000	1258	180	20,1	94,3	238,2	60	
4	5000	2100	1330	192	20,9	94,6	258,7	60	
Total Jam									202 Jam

Ket. Tambahan:

Diket.: - Load factor = 0,85

-Jml bahan Bakar (ml) = 20 ml

-Waktu (s) Pada $N_1 = 1900$ rpm , Beban $_1 = 2000$ = 90 s/d 68 (s)

$N_2 = 2000$ rpm, Beban $_2 = 5000$ = 27 s/d 44 (s)

$N_3 = 2100$ rpm, Beban $_3 = 5000$ = 25 s/d 40 (s)

Lampiran 2 : Tabel Data Pengujian Ketahanan dengan Bahan Bakar B20A

Pengujian 2 (Solar + B20A)

No	Beban	Putaran (rpm)		Generator		Temperatur		Waktu	Hari/Tanggal
		Engine	Generator	Tegangan	Arus	Air Pendingin	Gas Buang		
1	0	1000	642,2	-	-	55,9	82,8	30	Senin, 8 Mei 2017 Jam 06.00 24 Jam
2	2000	1900	1199	172	7,6	89,0	188,7	30	
3	5000	2000	1258	181	20,2	93,9	351,4	60	
4	5000	2100	1324	190	20,7	93,9	356,4	60	
1	0	1000	645,6	-	-	55,8	82,8	30	
2	2000	1900	1201	172	7,6	89,1	188,7	30	
3	5000	2000	1258	181	20,2	93,9	351,4	60	
4	5000	2100	1328	190	20,8	93,9	356,3	60	
1	0	1000	645,6	-	-	55,8	82,8	30	
2	2000	1900	1201	172	7,6	89,1	188,7	30	
3	5000	2000	1258	181	20,2	93,9	351,4	60	
4	5000	2100	1328	190	20,8	93,9	356,3	60	
1	0	1000	645,6	-	-	55,8	82,8	30	
2	2000	1900	1201	172	7,6	89,1	188,7	30	
3	5000	2000	1258	181	20,2	93,8	351,4	60	
4	5000	2100	1328	190	20,8	93,9	356,3	60	
1	0	1000	645,6	-	-	55,8	82,8	30	
2	2000	1900	1201	172	7,6	89,1	188,7	30	
3	5000	2000	1258	181	20,2	93,8	351,4	60	
4	5000	2100	1328	190	20,8	93,9	356,4	60	
1	0	1000	645,6	-	-	55,8	82,8	30	
2	2000	1900	1201	172	7,6	89,1	188,7	30	
3	5000	2000	1258	181	20,2	93,8	351,4	60	
4	5000	2100	1328	190	20,8	93,9	356,4	60	
1	0	1000	645,6	-	-	55,8	82,8	30	Selasa, 9 Mei 2017
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	

3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	Jam 06.00 24 Jam
4	5000	2100	1320	190	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,8	-	-	55,8	62,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1320	190	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,8	-	-	55,8	62,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1320	190	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,8	-	-	55,8	62,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1320	190	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,8	-	-	55,8	62,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1320	190	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,8	-	-	55,8	62,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1320	190	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,8	-	-	55,8	62,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1320	190	20,7	91,1	303	60	
									Rabu, 10 Mei 2017 Jam 06.00 24 Jam
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	

3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,2	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	

Kamis, 11
Mei 2017

Jam 06.00

3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	24 Jam
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	Jumat, 12 Mei 2017
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	Senin, 15 Mei 2017
4	5000	2100	1325	191	20,8	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
									24 Jam
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	

1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	Selasa, 16 Mei 2017
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	Jam 06.00
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	24 Jam
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	

1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,9	62,9	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,3	160	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	90,9	288	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	91,1	303	60	
									Rabu, 17 Mei 2017
1	0	1000	642,6	-	-	55,8	63,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,4	165	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	91,2	289	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	92,1	302	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,8	63,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,4	165	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	91,2	289	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	92,1	302	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,8	63,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,4	165	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	91,2	289	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	92,1	302	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,8	63,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,4	165	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	91,2	289	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	92,1	302	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,8	63,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,4	165	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	91,2	289	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	92,1	302	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,8	63,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,4	165	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	91,2	289	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	92,1	302	60	
1	0	1000	642,6	-	-	55,8	63,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,4	165	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	91,2	289	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	92,1	302	60	

1	0	1000	642,6	-	-	55,8	63,8	30	
2	2000	1900	1198	170	7,5	81,4	165	30	
3	5000	2000	1257	180	20,1	91,2	289	60	
4	5000	2100	1325	191	20,7	92,1	302	60	
Total Jam									178 Jam
MesinMatipada jam Ke 178									

Ket. Tambahan:

Diket.: - Load factor = 0,85

-Jml bahan Bakar (ml) = 20 ml

-Waktu (s) Pada $N_1 = 1900$ rpm , Beban $_1 = 2000$ = 90 s/d 68 (s)

$N_2 = 2000$ rpm, Beban $_2 = 5000$ = 27 s/d 44 (s)

$N_3 = 2100$ rpm, Beban $_3 = 5000$ = 25 s/d 40 (s)

Lampiran 3 : Tabel Data Pengujian Ketahanan dengan Bahan Bakar B20B

Pengujian 3 (Solar + B20B)

No	Beban	Putaran (rpm)		Generator		Temperatur		Waktu	Hari/Tanggal
		Engine	Generator	Tegangan	Arus	Air Pendingin	Gas Buang		
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	Senin, 29 Mei 2017 Jam 06.00 24 Jam
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	Selasa, 30 Mei 2017
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	

3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	Jam 06.00
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	183	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	24 Jam
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	Rabu, 31 Mei 2017
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	71,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	175	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	175	30	
									Jam 06.00
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	175	30	

3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	24 Jam
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	179	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	291	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
									Kamis, 1 Juni 2017
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
									Jam 06.00
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	

3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	24 Jam
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	Jumat, 2 Juni 2017
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	Senen, 5 Juni 2017
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
									Jam 06.00
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	24 Jam
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	

3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	Selasa, 6 Juni 2017
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	Jam 06.00
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	24 Jam
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	

3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
									Rabu, 7 Juni 2017
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	Jam 06.00
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	24 Jam
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	

3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	Kamis, 8 Juni 2017
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	Jam 06.00
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	24 Jam
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	Jumat, 9 Juni 2017
3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
									Jam 06.00
1	0	1000	647,5	-	-	71,1	74,1	30	
2	2000	1900	1198	173	7,5	81,7	174	30	6 Jam

3	5000	2000	1257	182	20,1	91,5	292	60	
4	5000	2100	1325	192	20,8	92,3	303	60	
Total Jam									207
Total jam selamapengujian(Running 1 + Running 2 + Running 3)									587